



Diseño de la parte eléctrica de una subestación eléctrica de tracción paralíneas convencionales

PROYECTO FINAL DE CARRERA

INGENIERÍA INDUSTRIAL SUPERIOR

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Febrero 2016

Autor: David Aguado García

Tutor: Guillermo Robles Muñoz



RESUMEN

El presente proyecto “Diseño de la parte eléctrica de una subestación eléctrica de tracción para líneas convencionales” se ha realizado con la intención de determinar el diseño y actuaciones eléctricas necesarias para la construcción de una subestación eléctrica de tracción rectificadora que dé servicio a líneas ferroviarias convencionales, alimentadas en corriente continua.

Ha sido realizado con motivo de la finalización de mis estudios en Ingeniería Industrial Superior, en la Universidad Carlos III de Madrid. Gracias al trabajo y experiencia adquirida durante mi periodo de prácticas en una empresa referente en el sector de la ingeniería del transporte, y consolidación de la materia mediante búsqueda de documentación adicional, he adquirido conocimientos y herramientas suficientes para poder realizar el que es, y presento aquí, mi proyecto final de carrera.

Supuesto un estudio de dimensionamiento energético y una simulación de frecuencias en una determinada línea ferroviaria convencional, se determina la necesidad de aumentar el suministro de potencia. Para ello es necesaria la construcción de nuevas subestaciones eléctricas de tracción para alimentar esta línea ferroviaria. En este caso se estudia de manera singular una subestación eléctrica rectificadora de tracción, sin evaluar el tramo o área de la que formará parte.

Para la elaboración del presente proyecto partimos como base de los datos eléctricos que nos facilitaría la compañía suministradora una vez confirmado el punto y condiciones de conexión. Con base en dichos datos de partida se diseña la aparamenta, instalaciones y conexiones que componen la subestación eléctrica de tracción cumpliendo los reglamentos oficiales, normativas específicas del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias y las normas y manuales técnicos aplicables. De la misma manera, se hace una estimación de los costes que supondría la ejecución de la obra necesaria para la construcción y puesta en marcha de la subestación eléctrica de tracción. Adicionalmente, se completa el diseño con una colección de planos básica donde quedan definidas partes específicas del diseño de la instalación, así como para hacernos una idea visual de qué estamos diseñando.

Como Proyecto Final de Carrera no se pretende la realización de un proyecto constructivo, sino detallar la parte de éste en la cual se definen las instalaciones eléctricas de una subestación eléctrica de tracción y la determinación de requerimientos necesarios para su buena ejecución.



DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL PROYECTO

DOCUMENTO N°1: MEMORIA

En este documento se especifican los factores técnicos, así como la justificación de la solución adoptada y de las características de las instalaciones proyectadas.

DOCUMENTO N°2: CÁLCULOS ELÉCTRICOS

En este documento se detallan los cálculos eléctricos y particularidades de las diferentes instalaciones y equipos de la subestación eléctrica de tracción.

DOCUMENTO N°3: PRESUPUESTO

Refleja la estimación de costes del presente proyecto, desde el punto de vista de la elaboración del proyecto así como de su futura ejecución.

DOCUMENTO N°4: PLANOS

- 00. Planta
- 01. Esquema unifilar
- 02. Distribución de equipos en planta
- 03. Red de tierras
- 04. Instalación de fuerza y ventilación
- 05. Alumbrado

BIBLIOGRAFÍA

CONCLUSIONES



LISTADO DE SÍMBOLOS

AT	Alta tensión
BT	Baja tensión
SSAA	Servicios Auxiliares
P_{cc}	Potencia de cortocircuito
I_{cc}	Corriente de cortocircuito
Trafo	Transformador
I_n	Intensidad nominal
CIA	Compañía eléctrica
I_{term}	Intensidad térmica
T	Tiempo
V_{cc}	Tensión en corriente continua
V_{ca}	Tensión en corriente alterna
CC	Corriente continua
CA	Corriente alterna
PLO	Puesto Local de Operaciones
SF6	Hexafluoruro de Azufre
REE	Red Eléctrica Española
L.A.C.	Línea Aérea de Contacto
BBOO	Barra ómnibus
SE	Subestación
SSEE	Subestaciones
ET	Especificaciones técnicas
CO ₂	Dióxido de carbono
CCTV	Circuito Cerrado de Televisión
DPCS	Dirección de Protección Civil y Seguridad

LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS

- Figura 1. Sistema mono-tensión (CC o CA)
Figura 2. Sistema bi-tensión (CA)
Figura 3. Sistema bi-tensión (CC)
Figura 4 – Representación de la electrificación ferroviaria en CC
Figura 5 – Detalle del circuito de retorno en CC
Figura 6 – Cabina de 36kV con interruptor.
Figura 7 – Cabina de 36kV con disyuntor.
Figura 8 – Detalle constructivo de una cabina 36 kV
Figura 9 – Transformador de potencia
Figura 10 – Celdas de seccionamiento
Figura 11 – Pórtico de *feeders*
Figura 12 – Luminaria *downlight* 2x32 W
Figura 13 – Luminaria pantalla estancia 2x58 W
Figura 14 – Luminaria fluorescente a adosar 4x32 W
Figura 15 – Luminaria fluorescente a adosar 4x18 W
Figura 16 – Distribución de luminarias e isolíneas para la sala general
Figura 17 – Valores lumínicos para la sala general
Figura 18 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala de transformadores
Figura 19 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala de rectificadores
Figura 20 – Isolíneas y diagrama de valores para aseo y ducha
Figura 21 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala de señales
Figura 22 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala de vídeo
Figura 23 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala PLO
Figura 24 – Isolíneas y diagrama de valores para la oficina
Figura 25 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala SSAA.
- Tabla 1 – Justificación de la pletina 10x100
Tabla 2 – Justificación de cable aislado 3(1x300)mm²
Tabla 3 – Validación de la malla por tensión de contacto
Tabla 4 – Validación de la malla por tensión de paso
Tabla 5 – Estimación de la resistencia puesta a tierra
Tabla 6 – Coeficiente K para cables desnudos según MIE-RAT-13
Tabla 7 – Cuadro eléctrico para alumbrado interior y exterior
Tabla 8 – Cuadro eléctrico de baja tensión para tomas de fuerzas y ventilación
Tabla 9 – Cuadro eléctrico de baja tensión para alumbrado de socorro
Tabla 10 – Cable unipolar 18/30 kV de la acometida eléctrica 30 kV
Tabla 11 – Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y corriente alterna.
Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV bajo tubo.
Tabla 12 – Factor de corrección para temperatura del terreno distinta de 25°C
Tabla 13 – Resistividad térmica del terreno en función de la naturaleza y humedad
Tabla 14 – Factor de corrección para resistividad térmica distinta de 1,5 K.m/W
Tabla 15 – Factor de corrección por distancia entre ternos o cables tripolares
Tabla 16 – Factor de corrección para profundidades de la instalación distintas a 1 m



DOCUMENTO N°1
MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	12
2. OBJETO DEL PROYECTO, SOLUCIÓN ADOPTADA Y ALCANCE.....	14
2.1 OBJETO DEL PROYECTO.....	14
2.2 SOLUCIÓN ADOPTADA	14
2.2.1 Subestación eléctrica de tracción de 2x3.300 kVA y 3.300 Vcc	14
2.2.2 Doble acometida subterránea en 30 kV	15
2.2.3 Acometida a catenaria. <i>Feeders</i> de alimentación y circuitos de retorno	15
2.2.4 Telemando de seccionadores de catenaria	16
2.3 ALCANCE	16
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	18
3.1 GENERALIDADES	18
3.1.1 Interconexión entre sistemas ferroviarios y sistemas eléctricos.....	18
3.1.2 Sistemas eléctricos ferroviarios.....	18
3.1.2.1 Sistema mono-tensión.....	18
3.1.2.2 Sistema bi-tensión	18
3.1.3 Electrificación ferroviaria.....	19
3.1.3.1 Electrificación ferroviaria en CC	20
3.2 UBICACIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES	21
3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRA CIVIL.....	21
3.3.1 Subestación Eléctrica de Tracción	21
3.3.2 Edificio de control.....	22
3.3.2.1 Instalaciones del edificio	23
3.3.2.1.1 Red de toma de tierras y masas	23
3.3.2.1.2 Fontanería y saneamiento	23
3.3.2.1.3 Ventilación.....	23
3.3.2.1.4 Climatización	24
3.3.2.1.5 Instalación de alumbrado y baja tensión	24
3.3.2.1.6 Alumbrado interior	24
3.3.2.1.7 Alumbrado de emergencia y socorro.....	24
3.3.2.1.8 Alumbrado exterior	25
3.3.2.1.9 Instalación de protección contra incendios	25
3.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS	25



3.4.1 Celdas 36 kV blindadas aisladas en SF6.	27
3.4.1.1 Generalidades y características principales.....	27
3.4.1.2 Celdas de llegada de línea a la subestación.....	32
3.4.1.3 Celdas de Medida 36kV-SF6 con remonte	32
3.4.1.4 Celdas de Acometida a Subestación Móvil.....	33
3.4.1.5 Celdas de Protección a Transformadores de Grupos 1 y 2	33
3.4.1.6 Celda de Acometida al Transformador de Servicios Auxiliares	34
3.4.2 Grupo de tracción.....	35
3.4.2.1 Transformadores de potencia	35
3.4.2.2 Rectificadores de potencia	36
3.4.2.3 Filtro de armónicos.....	37
3.4.2.4 Bobina de aplanamiento	37
3.4.3 Celdas de corriente continua 4 kV.	37
3.4.3.1 Celda seccionador de grupo 1 y acoplamiento de barras ómnibus	38
3.4.3.2 Celda de seccionador de grupo 2 y seccionador de posible subestación móvil	39
3.4.4 Salidas de <i>Feeders</i>	40
3.4.4.1 Salidas de <i>Feeder</i> parte interior	40
3.4.4.2 Salida de <i>Feeders</i> parte exterior.....	41
3.4.4.3 Acometida de <i>feeders</i> a catenaria.....	43
3.4.5 Circuitos de retorno.....	43
3.4.6 Servicios auxiliares en la subestación	43
3.4.6.1 Servicios Auxiliares para alta tensión en CA.....	43
3.4.6.2 Servicios Auxiliares para baja tensión en CA.....	44
3.4.6.3 Servicios Auxiliares para baja tensión en CC.....	44
3.4.7 Cargadores de batería y baterías 110 Vcc.....	45
3.4.8 Alumbrado, fuerza y otros servicios.....	45
3.4.8.1 Alumbrado interior	46
3.4.8.2 Alumbrado de emergencia y de socorro	46
3.4.8.3 Alumbrado exterior	46
3.4.9 Equipos de alimentación a la línea de señalización.....	47
3.4.9.1 Alimentación a las líneas de señales en BT.	47
3.4.9.2 Alimentación a las líneas de Señales en AT.	47
3.4.10 Gestor de protecciones.....	48



3.4.11 Mando y control de la subestación	48
3.4.11.1 Mando y control de la instalación	48
3.4.12 Armario de negativos	49
3.4.13 Redes de tierra y masa	50
3.4.13.1 Red de tierra.....	50
3.4.13.2 Red de masas.....	50
3.4.14 Protección contra incendios	51
3.4.14.1 Descripción de la instalación.....	51
3.4.14.2 Sistema de extinción.....	52
3.4.15 Control de accesos e interfonía	53
3.4.16 Video vigilancia	53
3.4.16.1 Cámaras	54
3.4.16.2 Equipos	54
3.4.17 Sistema de intrusión	54
3.4.17.1 Descripción	54
3.4.18 Centralización de sistemas	55



CAPITULO I

ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES

Conocida la necesidad de un aumento en el tráfico ferroviario en la presente línea y la actual distancia entre las subestaciones existentes en este tramo de la línea ferroviaria a estudiar, surge la necesidad de construir una nueva subestación eléctrica de tracción para garantizar la potencia necesaria para el consumo previsto.

Este aumento del tráfico previsto en la línea convencional ferroviaria existente, hace inevitable el aumento de potencia instalada en dicha línea. Además, la gran distancia entre las subestaciones ya existentes en este tramo permite e invita a la construcción de la nueva subestación en el tramo de máxima separación entre dos subestaciones existentes.

Adicionalmente se llevan a cabo simulaciones en las que se determina la potencia que será demandada con la nueva frecuencia de los trenes. Esta simulación proporciona información suficiente para determinar una potencia mínima que garantizaría un correcto servicio acorde a las necesidades. Por consiguiente, y teniendo en cuenta estas simulaciones, se proyecta aumentar el número de subestaciones eléctricas de tracción instaladas en la presente línea ferroviaria, que proporcionen la potencia necesaria para cumplir los requerimientos previstos.

Con base en lo anterior, se redacta este proyecto para el diseño de una subestación eléctrica de tracción de líneas convencionales que determina la construcción de una nueva subestación ubicada en un punto kilométrico determinado a lo largo del trazado de la línea ferroviaria.



CAPITULO II

OBJETO DEL PROYECTO Y SOLUCIÓN ADOPTADA

2. OBJETO DEL PROYECTO, SOLUCIÓN ADOPTADA Y ALCANCE

2.1 OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del presente proyecto es definir técnicamente las actuaciones eléctricas a realizar para la instalación de los equipos necesarios para la construcción de la nueva subestación eléctrica, con el fin de cumplir con máxima fiabilidad, efectividad y seguridad los requerimientos de la explotación ferroviaria.

Adicionalmente, determinar una estimación de costes de cada una de las partidas necesarias para la ejecución del presente proyecto y futura obra.

2.2 SOLUCIÓN ADOPTADA

La solución adoptada constará de una nueva subestación eléctrica de tracción rectificadora alimentada por la doble acometida en 30 kV desde las instalaciones de compañía hasta las instalaciones de la subestación.

2.2.1 Subestación eléctrica de tracción de 2x3.300 kVA y 3.300 Vcc

La subestación contará con los siguientes equipos:

- Dos grupos transformadores rectificadores a tensión continua. Cada grupo cuenta con un transformador de potencia de 3.300 kVA, un rectificador para 3.000 kW, una bobina y los filtros de armónicos.
- Un transformador de servicios auxiliares de 250 kVA.
- Celdas de 36 kV, para la llegada de las dos líneas, para la medida con un transformador de tensión y un transformador de intensidad, los dos grupos de potencia, servicios auxiliares y para una posible subestación móvil.
- Celdas de corriente continua de 4 kV, para seccionador de grupo 1 y seccionador de acoplamiento de barras omnibus, seccionador de grupo 2 y seccionador de la móvil y seis salidas de *feeder* equipadas.
- Un conjunto de cabinas de señales de 12 kV equipadas con un transformador de 100kV, cabina *by-pass* y dos líneas de señales.
- Autoválvulas de corriente continua a la salida de los *feeders*.

- Un pórtico de *feeders* para seis salidas equipadas con entrada aérea y salida aérea. Dicho pórtico está situado dentro del recinto de la subestación pero fuera del edificio de control.
- Cuadros de mando, control y servicios auxiliares para “Sistema de control convencional”.
- Armario de protecciones.
- Armario de telemando para equipos de la subestación.
- Cuadro de distribución y protección en baja tensión de servicios auxiliares.
- Sistema de control de calidad de la energía.
- Armario de negativos.
- Armario de telemando de seccionadores de punta de *feeder* en PLO.
- Sistema de control de accesos y antiintrusión.

2.2.2 Doble acometida subterránea en 30 kV

La subestación dispondrá de una doble acometida para alimentación a una tensión nominal de 30 kV con simple circuito. El tendido será subterráneo en canalización hormigonada desde las instalaciones de la compañía eléctrica llegará directamente a las cabinas aisladas en gas SF6 de entrada de línea de nuestra nueva subestación.

Durante todo su trazado se tendrá que tener en cuenta todos los servicios afectados, comunicando a cada uno de ellos las instalaciones a realizar y pidiendo toda la información útil para poder evitar en todo lo posible las afecciones que pudieran surgir del tendido de la acometida.

No obstante, el tendido de la doble acometida desde compañía no es objeto de este proyecto. Se tendrá en cuenta el punto de conexión que nos facilitará la compañía para conocer las características eléctricas de las que partimos para alimentar la nueva subestación eléctrica de tracción, describiéndose básicamente a lo largo del presente proyecto.

2.2.3 Acometida a catenaria. *Feeders* de alimentación y circuitos de retorno

Del pórtico de *feeders* de la subestación se tenderán seis *feeders* de alimentación de catenaria. El tendido y cálculo de estos nuevos *feeders* desde la nueva subestación no son objeto del presente proyecto.

Desde el armario de negativos de la subestación, ubicado en el interior del edificio de control, se tenderán una serie de cables hasta la zona de vías para cerrar así los circuitos de retorno. Dichos cables son tendidos mediante una canalización subterránea que va desde la vía al armario de negativos.

2.2.4 Telemando de seccionadores de catenaria

La instalación de telemando de los seccionadores de catenaria forma parte de otro proyecto, pero sí es alcance del presente proyecto, el suministro e instalación de un Puesto Local de Operaciones para mando y control que su ubicará en este caso en el interior del edificio de control de la nueva subestación. Esta instalación, llevada a cabo en el proyecto de actuaciones de catenaria incluye:

2.3 ALCANCE

El alcance del proyecto se resume en la definición de la aparamenta eléctrica, tanto de exterior como de interior (con excepción de los sistemas de baja tensión como mecanismos, seccionadores o calefacción asociados a los equipos), los cálculos eléctricos necesarios para la justificación de la utilización de los equipos, cables y sistemas utilizados, una estimación de los costes y una representación gráfica mediante un colección básica de planos de la subestación y sus instalaciones más importantes.

No es objeto del proyecto la obra civil asociada (definición del emplazamiento de la obra con sus redes de saneamiento, urbanización, caminos de acceso, edificio técnico, cimentaciones, etc.), el sistema de mando, control y protecciones (incluido la medida y control de la energía), así como los servicios auxiliares climatización, instalaciones de seguridad y protección contra incendios. No obstante, se realizará una breve descripción y se especificará su funcionalidad.

El emplazamiento y la potencia necesaria a instalar para la línea en corriente continua, se obtienen del estudio de dimensionamiento eléctrico de la línea ferroviaria, que no es objeto del presente proyecto.



CAPITULO III DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Interconexión entre sistemas ferroviarios y sistemas eléctricos

Los sistemas eléctricos ferroviarios son sistemas eléctricos que se emplean para suministrar potencia eléctrica al ferrocarril. En algunos casos pueden contar con propias infraestructuras: centrales eléctricas, red de transporte propia y red de distribución propia... Las mayores particularidades de los sistemas eléctricos ferroviarios se encuentran en la propia red de tracción, formada por catenarias y raíles:

- Uso bastante habitual de corriente continua (CC) para alimentar los trenes, debido a gran medida a las limitaciones tecnológicas que existían cuando se desarrolló la tracción eléctrica (la regulación de velocidad con motores de corriente alterna (CA) era mucho más complicada de implementar que con motores de CC).
- Uso de sistemas particulares de CA, sistemas monofásicos, (por ejemplo 1x25 kV) o bifásicos (por ejemplo 2x25 kV), con frecuencias industriales de 50 Hz o específicamente ferroviarias (16,6 Hz) dependiendo del país.

3.1.2 Sistemas eléctricos ferroviarios.

3.1.2.1 Sistema mono-tensión

En un sistema mono-tensión, el nivel de tensión con el que se alimenta el tren ($V_{\text{suministro}}$) es el mismo que se aplica en la catenaria ($V_{\text{transporte}}$), tal y como se muestra en la Figura. Este sistema de alimentación se puede aplicar tanto en CC como con CA, aunque la implementación es ligeramente distinta, [1].

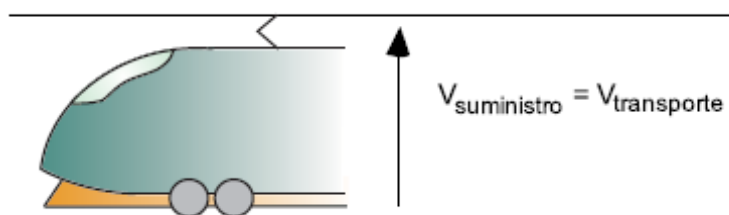


Figura 1. Sistema mono-tensión (CC o CA)

3.1.2.2 Sistema bi-tensión

En un sistema bi-tensión, se aplica una tensión en la catenaria ($V_{\text{transporte}}$) mayor que el nivel de tensión con el que se alimenta el tren ($V_{\text{suministro}}$), que se reduce mediante equipos reductores distribuidos a lo largo de la línea (autotransformadores en CA y convertidores electrónicos en CC), [1].

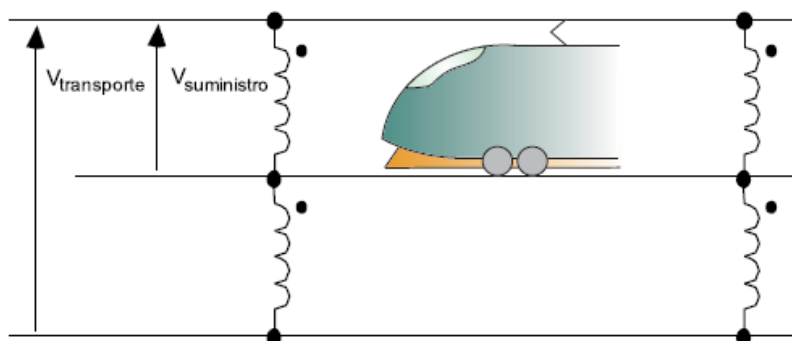


Figura 2. Sistema bi-tensión (CA)

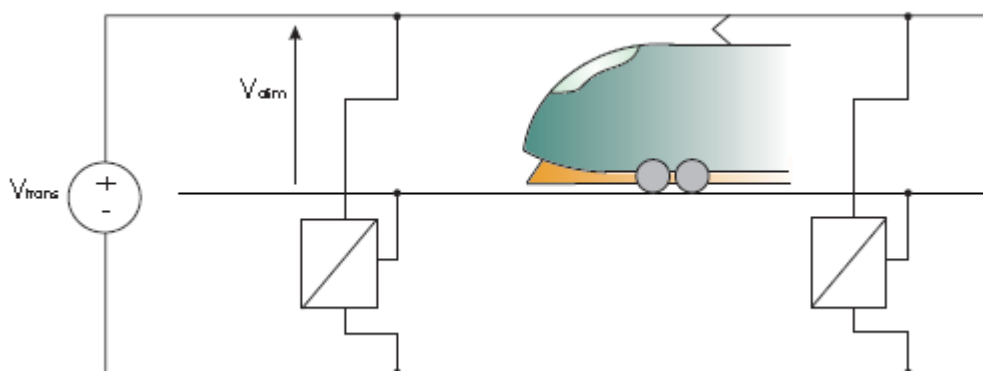


Figura 3. Sistema bi-tensión (CC)

3.1.3 Electrificación ferroviaria

Un sistema de electrificación ferroviaria comprende todos los elementos que hacen posible que la energía eléctrica llegue al material móvil, con la potencia necesaria para que éste pueda alcanzar las prestaciones para las que ha sido diseñado, dentro de los criterios de explotación prescritos. Así pues, un sistema de electrificación puede dividirse en los siguientes grandes bloques:

- Líneas de alta tensión para la alimentación del sistema desde la red de transporte.
- Subestaciones transformadoras y/o acondicionadoras de la tensión.
- Líneas de alimentación de energía al material móvil y circuito de retorno.

3.1.3.1 Electrificación ferroviaria en CC

La figura 4 muestra el esquema típico de una electrificación en CC, alimentada desde una red trifásica. Las subestaciones están conectadas en pi, existiendo un grado de paralelismo entre ellas, es decir, a cada tren le llega potencia de varias subestaciones a la vez).

La alimentación se realiza por los conductores positivos (mediante catenaria, catenaria rígida o carril activo) y el retorno por conductores neutros (uno o dos carriles), [1].

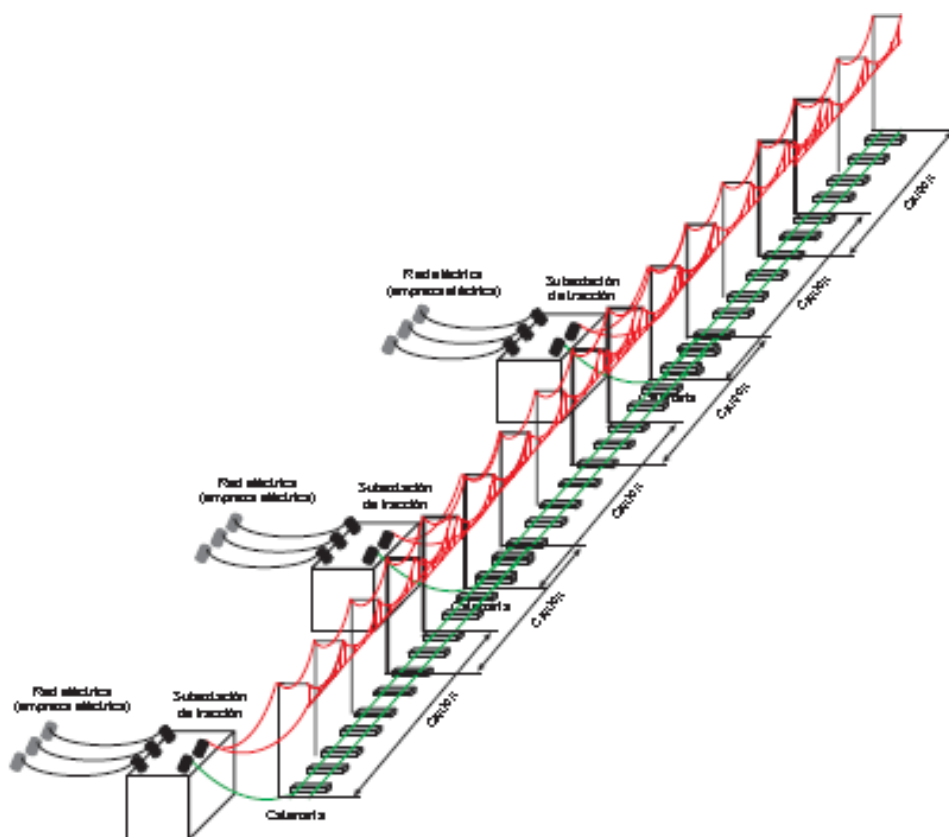


Figura 4 – Representación de la electrificación ferroviaria en CC

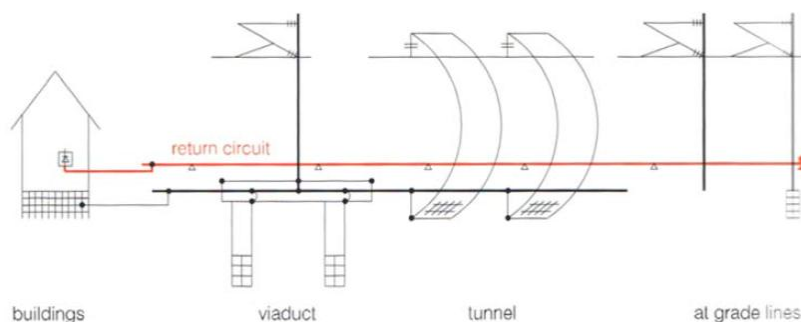


Figura 5 – Detalle del circuito de retorno en CC

En España la red de líneas ferroviarias convencionales se electrifica en corriente continua por las dificultades técnicas que existían en los comienzos de la tracción eléctrica. La subestación eléctrica de tracción objeto de este proyecto es de corriente continua y para implementar en una red convencional ferroviaria en el ámbito español.

3.2 UBICACIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES

La subestación eléctrica de tracción será ubicada junto a la traza de una línea convencional de ferrocarril dentro de la red española. En función del dimensionamiento eléctrico realizado, las particularidades del terreno y la presente traza, se determina la ubicación más favorable para su construcción.

3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRA CIVIL

3.3.1 Subestación Eléctrica de Tracción

La nueva subestación eléctrica de tracción objeto del presente proyecto se ubicará junto a la plataforma de la vía, junto al camino de acceso de mantenimiento que se encuentra junto a ella. Estos terrenos son propiedad del administrador de infraestructuras ferroviarias, por lo que, no será necesaria la expropiación permanente de ninguna parcela para la implantación de la subestación ni expropiaciones de carácter temporal para las actuaciones e instalaciones necesarias durante la ejecución de la obra.

Para su implantación se ha partido de los datos obtenidos de los estudios topográficos y geotécnicos, los cuales no son objeto del presente proyecto.

La nueva subestación eléctrica de tracción ha sido proyectada con una planta rectangular, con dimensiones de 25,67 metros de largo y 17,87 metros de ancho. Esto supone una superficie ocupada de 458,7 m² de los cuales 267,2 m² corresponden a edificio de la subestación, y los 191,5 m² restantes pertenecen al recinto del pórtico de *feeders*, accesos al recinto y el área perimetral al edificio de control.

El contorno del recinto queda delimitado con un vallado perimetral de altura suficiente para impedir el acceso de personas no autorizadas y ajenas al servicio ferroviario correspondiente. De esta manera se evita o disminuye la posibilidad de contactos eléctricos accidentales y se dispone de señalización reglamentaria de seguridad relativa a riesgos eléctricos en lugares determinados y de buena visibilidad.

El edificio de control presenta dos accesos principales de uso común para personal autorizado, además de otros accesos reservados para la introducción de equipos y material, ya que los equipos necesarios son de grandes dimensiones y no es posible introducirlos por las puertas de acceso peatonal.

En el interior del recinto de la nueva subestación se ubica el correspondiente pórtico de *feeders*, junto a uno de los laterales del edificio de control.

Son necesarias diferentes canalizaciones para el abastecimiento de agua, saneamiento y drenaje de fecales y saneamiento y drenaje de pluviales. Para el abastecimiento de agua para el aseo se considera una canalización subterránea desde la estación más cercana, situada a pocos metros de la ubicación de la subestación. El saneamiento será de recogida y conducción de fecales del edificio hasta la fosa séptica mediante un colector. Aparte se proyecta el saneamiento y drenaje de pluviales para evacuar las aguas recogidas mediante las canalizaciones correspondientes hasta las cunetas de la plataforma ferroviaria existentes en el entorno del emplazamiento de la nueva subestación.

3.3.2 Edificio de control

El edificio de control de la nueva subestación eléctrica de tracción comprende infraestructuras y procesos de edificación y obra civil los cuales no son objeto del presente proyecto.

Dispone de una planta rectangular con unas dimensiones aproximadas de 25,67 metros x 10,41 metros, contando pues con una superficie de 267,2 metros cuadrados. El edificio estará elevado respecto al nivel de la vía por lo que en los accesos de entrada se levantarán unos escalones para salvar dicho desnivel de altura.

La cubierta será inclinada a dos aguas pero descentrada, favoreciendo el verter mayor cantidad de agua por el lado opuesto al de los *feeders* y evitando así la acumulación de aguas pluviales en el área donde se encuentran los transformadores.

En su interior cuenta con las siguientes salas:

- Dos salas de transformadores de potencia
- Dos salas de rectificadores de potencia

- Sala general: celdas de llegada de línea, celdas de *feeder*, cabinas de control, el cargador de baterías, armario de negativos y cuadro eléctrico.
- Sala de transformador de servicios auxiliares
- Sala para el PLO
- Sala para la oficina
- Sala para el video.
- Sala de señales y comunicación
- Aseo

3.3.2.1 Instalaciones del edificio

El edificio de control dispondrá de las siguientes instalaciones:

3.3.2.1.1 Red de toma de tierras y masas

Dadas las características de las obras, se realizará una malla general de toma de tierras, a la cota que se determina en el presente proyecto, constituida por carriles de acero de 45 kg/m conectados a ánodos de sacrificio de zinc y picas situadas en arquetas visitables con dimensiones de 0,80 x 0,80 m. Las arquetas situadas en el interior de la subestación tendrán tapas metálicas con barrotes, para inspección ocular y las situadas en exteriores tapas ciegas de hormigón armado reforzado, [2][3].

A esa malla, se conectará la estructura del edificio, herrajes, frentes de celdas, puertas, etc., uniéndose todos los elementos mediante trenzas de cobre.

3.3.2.1.2 Fontanería y saneamiento

La fontanería y saneamiento se instalará mediante canalización subterránea desde la estación de abastecimiento de agua. Contará con aseos de agua fría y agua caliente, y fosa séptica para la recogida y evacuación de fecales. Se prevé la instalación de un termo eléctrico para la producción de agua caliente sanitaria.

3.3.2.1.3 Ventilación

Mediante electroventiladores ubicados en las diferentes zonas y rejillas de toma de aire exterior se pretende crear el flujo de ventilación necesario para cada local del edificio.

Las unidades están equipadas con termostato para el arranque y parada. El caudal máximo, número y situación de los electroventiladores y de las rejillas se estudia y define en el anejo de Cálculos Eléctricos.

3.3.2.1.4 Climatización

A través de una unidad de aire acondicionado para la refrigeración/calefacción de la oficina instalada en el edificio de la subestación se quiere cumplir el objetivo de mantener el espacio acondicionado a temperaturas óptimas para el trabajo de los operarios de mantenimiento.

3.3.2.1.5 Instalación de alumbrado y baja tensión

Las instalaciones de alumbrado y de baja tensión quedan reflejadas realizándose un plano de planta de la misma, en el que se definen las características de la instalación. Se dispone de una red de fuerza interior, que permita la conexión de los electroventiladores, aire acondicionado y tomas de fuerza para la conexión de cualquier equipo necesario. Se detalla en el anejo de Cálculos Eléctricos la instalación de alumbrado interior, alumbrado exterior, alumbrado de emergencia y alumbrado de socorro.

3.3.2.1.6 Alumbrado interior

El alumbrado interior se realizará mediante luminarias fluorescentes para adosar en el falso techo de 4x32 W para la sala general, y de 4x18 W para la sala de rectificadores, sala del transformador de SSAA, oficina y las salas de PLO, señales y video. Se utilizarán luminarias fluorescentes estancas de 2x56W para las salas de transformadores de potencia. Además, se instalarán luminarias *downlight* de 2x32 W en los diferentes compartimentos del aseo, [4][5].

3.3.2.1.7 Alumbrado de emergencia y socorro

De acuerdo con la vigente reglamentación [6] [7] [8], el edificio contará con alumbrado de emergencia, de manera suficiente para que permita el acceso a cualquier punto del mismo. Se distribuyen, las luminarias de emergencia, por la sala general y en todas las puertas de cada sala. Se instalarán luminarias de 583 lúmenes/1hora en las zonas abiertas, 220 lúmenes/1hora sobre las puertas que dan a un espacio interior y de 100 lúmenes/1hora sobre las puertas de acceso al edificio desde el exterior.

En caso de fallo de suministro, del mismo modo se dispondrá de alumbrado de socorro a 110 V en corriente continua, alimentado por las baterías previstas, tal y cómo se detalla en los planos. Ha de conseguirse que desde cualquier punto de la subestación sea posible llegar a la salida en caso de emergencia gracias a las luminarias.

3.3.2.1.8 Alumbrado exterior

El alumbrado exterior consistirá en proyectores de 150 W colocados dentro del recinto de la subestación para iluminar la zona del pórtico de *feeder* y entrada a dicho recinto, y por lámparas murales de 100 W a lo largo del perímetro del edificio de control, para iluminar los accesos al mismo. De la misma manera, parte de estas luminarias murales serán de socorro alimentadas en corriente continua para mantener una iluminación exterior mínima necesaria en caso de emergencia, [6].

3.3.2.1.9 Instalación de protección contra incendios

La instalación de protección contra incendios, está diseñada con un sistema de detección automática, y complementada con medios de extinción manual, pero que no queda detallada en el presente proyecto por no estar dentro de su alcance.

3.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Se describe a continuación las instalaciones de potencia, indicándose las características técnicas principales y resto de condiciones que tienen que cumplir las mismas.

Los datos eléctricos de los que partimos son los que la compañía eléctrica distribuidora nos ha facilitado. Dado que necesitamos alimentar la nueva subestación eléctrica de tracción es necesario realizar una solicitud de suministro eléctrico a la compañía suministradora más cercana y/o favorable que pueda ofrecer un punto de conexión con la potencia necesaria. Una vez solicitado este suministro eléctrico la compañía nos facilita unas condiciones técnicas y económicas ofreciendo el punto de conexión más cercano y favorable desde el que podemos realizar el entronque. En dichas condiciones técnicas nos proporcionan los datos eléctricos de su red en ese punto de conexión, desde los que partimos para la llegada de línea a la subestación.

En este caso, nos conectaremos a una línea de media tensión de 30 kV, donde la compañía nos proporciona una potencia de cortocircuito, intensidad de cortocircuito, tiempo de desconexión en caso de cortocircuito y ciertas condiciones técnicas específicas para la conexión a su red.

En función de lo anterior, las características eléctricas generales de las instalaciones de potencia son las descritas a continuación.

a) Corriente alterna

- Tensión trifásica asignada..... 36kV
- Frecuencia 50 Hz
- Suponemos potencia de corto-circuito en barras de 36kV
de la SE de CIA suministradora1.106,62 MVA

- Suponemos intensidad máxima de defecto en barras de 36kV de la SE de CIA suministradora (diseño)21,3 kA en 0,5 s

b) Corriente continua

- Tensión nominal bajo carga.....3.300 V
- Potencia nominal 2 x 3.000 kW
- Intensidad nominal 2 x 910 A

c) Cargas admisibles

- De forma permanente 100 %
- Durante dos horas 150 %
- Durante cinco minutos 300 %

d) Servicios auxiliares en corriente alterna

- Tensión 220/127 V
- Frecuencia 50 Hz
- Potencia 250 kVA

e) Servicios auxiliares de corriente continua

- Tensión asignada 110 V
- Máxima variación de tensión ± 15 %

Todos los componentes de la instalación serán adecuados para resistir los esfuerzos térmicos y dinámicos, resultantes del nivel de cortocircuito específico. Todos los componentes serán capaces de soportar las cargas admisibles indicadas anteriormente a la tensión nominal, bajo las condiciones de servicio establecidas sin que se sobrepasen los límites de temperatura admisibles.

Los dos grupos rectificadores se acoplarán a ambas barras ómnibus totalmente independientes entre sí; de esta forma, cada subestación quedaría en dos módulos claramente diferenciados, como si se tratara de dos subestaciones unidas exclusivamente por las llegadas de línea, el control y pórtico de corriente continua, [1].

Con esta disposición, cada grupo rectificador, dotado de su bobina de aplanamiento y filtro de armónicos correspondiente, atacará a una de las barras ómnibus de la que a su vez se conectarán uno de los dos paquetes de *feeders*.

La distribución de los *feeders* se determina teniendo en cuenta la ubicación del edificio de control respecto a las vías, ya que es necesario prever cómo será el tendido de la acometida de *feeder*. Dos de las acometidas *feeder* tiene que cruzar a las vías, siendo más conveniente realizar este cruce a la salida del edificio de control y no mantener dicha acometida doble paralela a la traza dando lugar a un cruzamiento entre ellas, [9]. Por lo tanto, la distribución de los *feeder* se realiza evitando el cruzamiento entre las diferentes acometidas, quedando distribuidas las cabinas de continua de *feeder* como se representa en el Plano 02 de Distribución de equipos.

Las dos barras ómnibus estarán interconectadas mediante un seccionador automático y telemandado, generalmente abierto. Cuando uno de los dos grupos eventualmente averíe, el restante podrá alimentar ambas barras ómnibus cerrando el seccionador citado, previa desconexión de la carga; (por la apertura de extrarrápidos e interruptores de grupo).

Ambas barras ómnibus discurrirán por todas las celdas de *feeder* a fin de facilitar la asignación de los paquetes de *feeder*, en caso de variaciones de consumo u otras circunstancias que sea preciso. Cada vía ferroviaria tendrá una barra *by-pass* asociada en el pórtico de *feeders* para poder dar paso a unos *feeders* u otros en caso de necesidad.

Una serie de pulsadores, situados en cuadro de control y puertas de salida desconectarán la subestación en caso de emergencia.

3.4.1 Celdas 36 kV blindadas aisladas en SF6.

Se instalan dentro del edificio de control, en siete módulos.

3.4.1.1 Generalidades y características principales

Las celdas de 36 kV serán de tipo blindado aisladas en SF6 bajo envolvente metálica, y podrán ser acopladas para formar conjuntos de celdas. Serán de simple barra aisladas con aislamiento en gas SF6, de fases agrupadas o aisladas y baja presión de trabajo y constituidas por el acoplamiento estanco de diferentes unidades modulares.

Cada celda estará constituida por una envolvente realizada en chapa de acero inoxidable magnético, soldada y tratada contra corrosión. Los bastidores de soporte serán de elevada resistencia mecánica e irán dotados de tornillos de nivelación y sistemas de anclaje a la estructura de las celdas. Llevarán incorporado alumbrado interior para mantenimiento e inspección.

Las celdas estarán divididas en compartimentos independientes y estancos.

El cubículo de barras y seccionadores de barras y el de interruptor automático estarán realizados en acero inoxidable de forma hermética y resistente a la presión.

El compartimiento de barras será estanco utilizando gas SF₆ como aislamiento. Los juegos de barras serán de pletinas de cobre (Cu) y dimensionadas hasta 2.500 A.

El cubículo que alojará los interruptores automáticos permitirá su eventual sustitución de forma cómoda. El interruptor automático será de corte en SF₆ ó en vacío y se fijará a su compartimiento metálico de forma estanca por atornillamiento del escudo metálico con el que irá dotado a la cuba del interruptor. El mecanismo de accionamiento se situará fuera del recinto de SF₆ y será fácilmente accesible para su mantenimiento y revisión retirando su cubierta. Todos los interruptores automáticos de corte en SF₆ ó en vacío, irán dotados de contactos de señal de alarma y bloqueo por baja presión facilitando información continua de disponibilidad. Además cada uno de estos dos compartimientos (juego de barras e interruptor automático) estará dotado de una válvula para el rellenado de SF₆, conectada a un manómetro dotado de contacto de alarma de baja presión para control, situado en el panel frontal. El manómetro, en su caso, podrá ser sustituido sin pérdida de gas en el recinto.

Podrán instalarse transformadores de intensidad y de tensión directamente sobre los cables. Estarán situados fuera del recinto de SF₆ libre de conexiones de potencia y accesibles en todo momento.

Cada celda constará también de compartimientos de cables, de baja tensión y mandos. En la parte frontal de la envoltura estarán los compartimientos de baja tensión, destinados al alojamiento de equipo secundario de baja tensión y las bornas de conexión de los circuitos auxiliares, (medida, mando, control; y dos paneles, uno que incluya los mecanismos de mando manual y eléctrico de los seccionadores de barras y los sistemas de enclavamiento (tanto mecánico como eléctricos), así como el esquema sinóptico del circuito principal, y un segundo panel que alojará el mecanismo de accionamiento del interruptor automático, el indicador de presión del cubículo del mismo y los indicadores de presencia de tensión en los cables.

Todos los componentes de la parte frontal serán accesibles a través de puertas o paneles fácilmente desmontables, [10] [11].

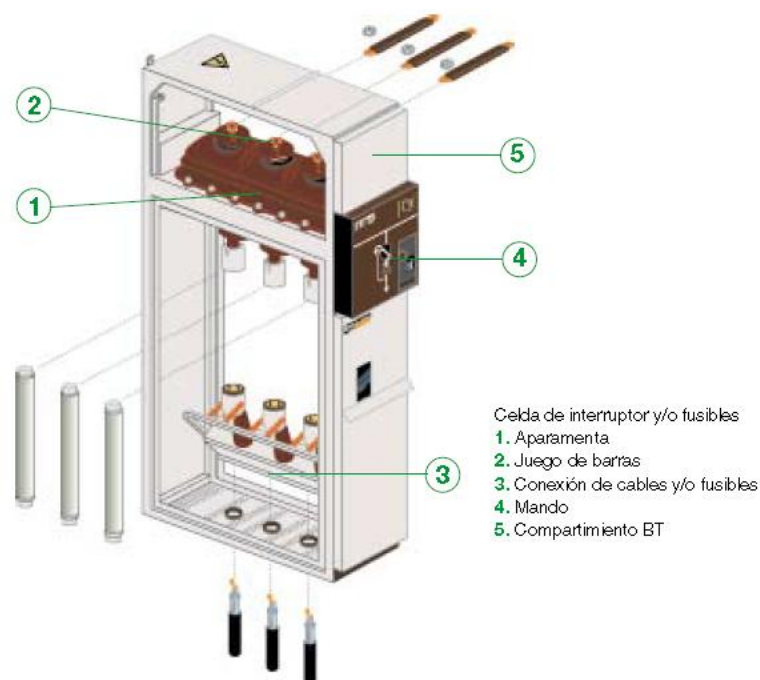


Figura 6 – Cabina de 36 kV con interruptor.

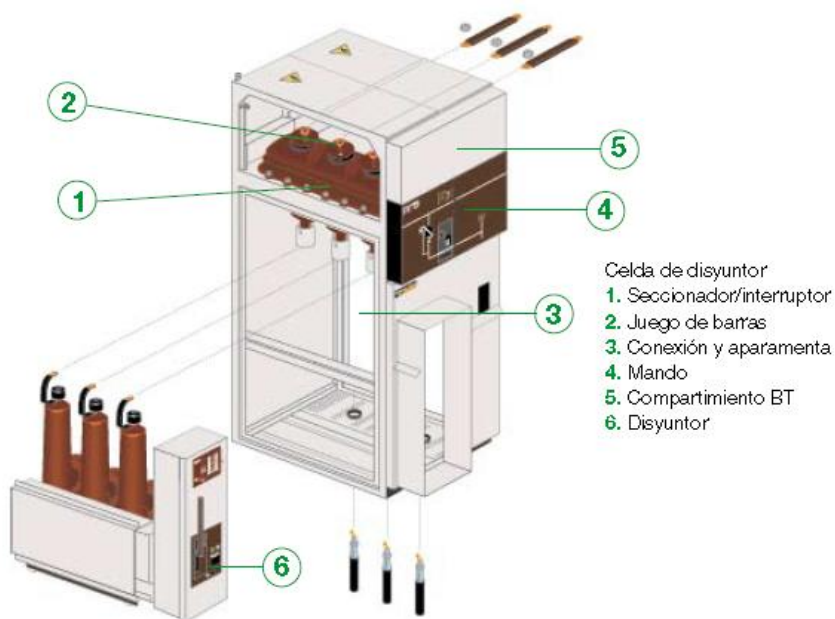


Figura 7 – Cabina de 36 kV con disyuntor.

Las celdas 36 kV blindadas-aisladas en gas SF6 tendrán las siguientes características eléctricas principales, [10][11]:

- Tensión nominal de aislamiento: 36 kV



- Tensión de servicio: 30 kV
- Tensión de circuitos de control: 110 Vcc
- Grado de protección de componentes de alta tensión: IP-65
- Tipo de instalación interior
- Intensidad nominal del embarrado: 1250 A
- Intensidad derivaciones: Llegadas/ salidas 630 A
- Intensidad de cortocircuito trifásica simétrica: 25 kA
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial: 70 kV
- Tensión de ensayo a onda de choque tipo rayo: 170 kV
- Aislamiento eléctrico: SF6
- Presión del gas, 20°: 0,3 bar
- Frecuencia: 50Hz
- Dimensiones aproximadas de cada celda: 600x1445x2400 mm

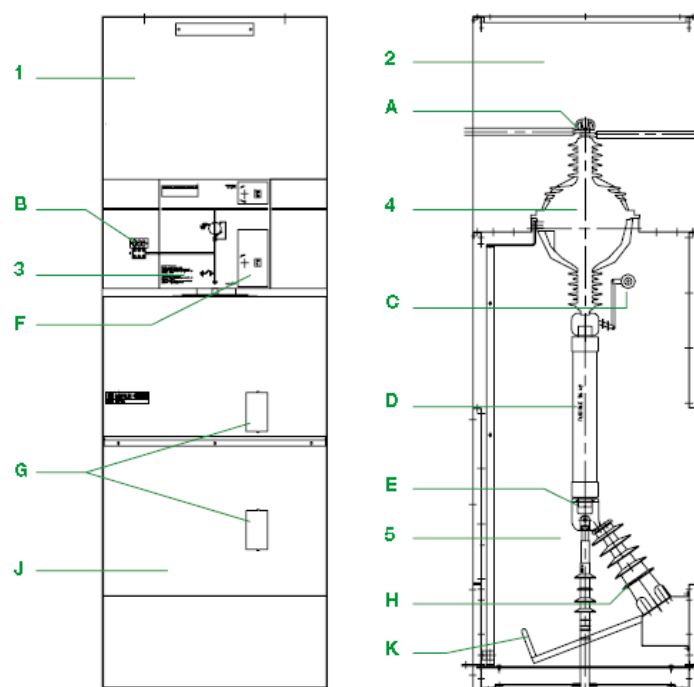


Figura 8 – Detalle constructivo de una cabina 36 kV

1. Compartimiento de baja tensión
2. Compartimiento de juego de barras
3. Compartimiento de mando
4. Compartimiento de la aparamenta: interruptor seccionador y seccionador de puesta a tierra
5. Compartimiento de fusibles y conexionado de los cables
- A. Deflectores de campo y conexión del juego de barras
- B. Indicador de presencia de tensión
- C. Timonería de disparo por fusión fusible
- D. Fusibles
- E. Deflector de campo y conexión de cables
- F. Señalización de disparo por fusión de fusible
- G. Mirilla de control del conexionado de cables
- H. Aislador capacitivo
- J. Panel delantero
- K. Seccionador de puesta a tierra

De esta manera, las celdas de 36 kV son las que permiten la llegada y control de energía desde el suministro de compañía hasta el interior de la subestación de tracción. Por ello diferenciamos las necesidades que existen en la llegada de línea.

A la subestación de tracción llegan dos líneas de suministro eléctrico, por lo que necesitamos dos cabinas de 36 kV de llegada de línea. Junto a la llegada de líneas, se instala una cabina de protección y medida; esta celda cumple la función de medir la energía suministrada mediante los trafos necesarios. Una vez realizada y mediante el embarrado de las cabinas de 36 kV, se alimenta las cabinas de los dos grupos de tracción, servicios auxiliares y la posible futura subestación móvil.

3.4.1.2 Celdas de llegada de línea a la subestación

Se instalarán dos celdas de 36 kV-SF6 para la llegada de línea. A la subestación llegan dos líneas de acometida eléctrica directamente a estas cabinas procedentes del suministro que proporciona la compañía distribuidora. Cada celda de llegada de línea está equipada con:

- Embarrado general 1250 A con aislamiento en SF6, compartimentado celda a celda.
- Un seccionador tripolar de acometida de 36 kV, 630 A.
- Un interruptor automático tripolar de corte en SF6 o vacío, 36 kV, 1250 A, 20 kA, con accionamiento eléctrico compuesto.
- Tres transformadores de intensidad para protección, relación de transformación 100/5A, 30 VA, 5P20 con límite térmico 200 In.
- Un seccionador tripolar 36 kV, 630 A de tres posiciones y mando manual.
- Un indicador de presencia de tensión de lámpara.
- Un conjunto de elementos de baja tensión (relés auxiliares, automáticos, bornas, etc.)
- Un manómetro de contacto de alarma, para indicación de presencia de gas SF6.

3.4.1.3 Celdas de Medida 36kV-SF6 con remonte

Se instalará una celda de medida 36 kV-SF6 para el control de potencia con un remonte incluido. Este remonte es lo que permite la continuidad del circuito a lo largo de los módulos de las cabinas de 36 kV “remontando” la instalación de nuevo hasta el embarrado instalado en la parte superior de las cabinas. Este nuevo embarrado será único hasta las posteriores cabinas: servicios auxiliares, grupos 1 y 2 y la cabina correspondiente a las subestación móvil.

Esta celda de medida estará equipada con:

- Embarrado general de 1.250 A con aislamiento en SF6.
- Dos seccionadores tripolares de remonte a barra de 36 kV, 630 A de tres posiciones y mando manual. Accionamiento manual.
- Trestransformadores de tensión para medida de compañía eléctrica y empresa instaladora, relación de transformación $30000/\sqrt{3} - 110/\sqrt{3}$, $110/\sqrt{3}$, con dos devanados secundarios.
- Tres transformadores de intensidad para medida de relación de 100,200 – 5, 5 A con dos devanados secundarios.

- Un manómetro con contacto de alarma de medida de presión de gas de la cuba de interruptor, que indica la presión del SF6 del interior de la cabina.
- Indicadores de presencia de tensión de lámpara.
- Un conjunto de elementos de baja tensión (relés auxiliares, automáticos, bornas, etc.)

3.4.1.4 Celdas de Acometida a Subestación Móvil

Para realizar la acometida a la subestación móvil se instalará una celda de alimentación de 36 kV, con aislamiento SF6. En el presente proyecto no se contempla la instalación de subestación móvil, pero se diseña y acondiciona la instalación de la nueva subestación para la posible incorporación de dicha subestación móvil en cualquier momento.

En caso de necesidad, una subestación móvil podrá conectarse mediante esta celda de acometida a subestación móvil y empezar a dar servicio desde esta subestación.

La celda de acometida a subestación móvil está equipada con:

- Embarrado general 1.250 A con aislamiento en SF6.
- Seccionador tripolar de acometida de 630 A, mando manual.
- Un manómetro de contacto de alarma de medida de presión de gas SF6 en la cuba del interruptor.
- Un indicador de presencia de tensión de lámpara.
- Un conjunto de elemento de baja tensión (relés auxiliares, automáticos, bornas, etc.)

El control de esta cabina se realizará desde el armario de grupos situado en el interior de la subestación, por el sistema de Control Convencional que se instala en este diseño.

3.4.1.5 Celdas de Protección a Transformadores de Grupos 1 y 2

Se instalarán dos celdas de 36 kV-SF6 de protección de grupos a 36kV, aisladas en SF6 y equipadas con:

- Embarrado general 1250 A con aislamiento en SF6, compartimentado celda a celda.
- Un seccionador tripolar de acometida de 36 kV, 630 A.

- Un interruptor automático tripolar de corte en SF6 o vacío, 36 kV, 1.250 A - 31,5 kA, con accionamiento eléctrico.
- Tres transformadores de intensidad para protección, relación de transformación 100-200/5-5A, 30 VA, 5P20.
- Un indicador de presencia de tensión de lámpara.
- Un conjunto de elementos de baja tensión (relés auxiliares, automáticos, bornas, etc.)
- Un manómetro de contacto de alarma, para indicación de presencia de gas SF6.
- Pasatapas para salida de un cable por fase.

El control de esta cabina se realizará desde el armario de grupos situado en el interior de la subestación, por el sistema de Control Convencional que se instala en este diseño.

3.4.1.6 Celda de Acometida al Transformador de Servicios Auxiliares

Para la alimentación de servicios auxiliares se instalará una celda de 36 kV-SF6 equipada con:

- Embarrado general 1250 A con aislamiento en SF6.
- Interruptor – seccionador en carga 400A, tres posiciones, mando manual.
- Bases portafusibles con fusibles combinados con el interruptor – seccionador.
- Tres fusibles de 36 kV de 12A.
- Un indicador de presencia de tensión de lámpara.
- Un conjunto de elementos de baja tensión (relés auxiliares, automáticos, bornas, etc.)
- Un manómetro de contacto de alarma, para indicación de presencia de gas SF6.
- Pasatapas para salida de un cable por fase.

El control de esta cabina se realizará desde el armario de servicios auxiliares situado en el interior de la subestación, por el sistema de Control Convencional que se instala en este diseño.

La descripción de las celdas de alta tensión ha sido basada principalmente en modelos de Schneider, [10] [11].

3.4.2 Grupo de tracción

Se instalarán dos grupos transformadores – rectificadores, con una potencia de los transformadores de 3.300 kVA y 3.000 kW de los rectificadores:

3.4.2.1 Transformadores de potencia

La subestación estará equipada con dos transformadores de potencia de las siguientes características técnicas y requisitos principales, [13]:

- Potencia Nominal: 3.300 kVA
- Potencia Secundaria y Terciaria: 2x1.650 kVA
- Tensión Primaria: 25 kV
- Tensión Secundaria y Terciaria: 1.300 V
- Conexión: Yy0-Yd11
- Refrigeración: AN



Figura 9 – Transformador de potencia de tipo seco

El transformador de potencia será de tipo seco ya que va a ser ubicado en el interior del edificio de control, en vez de en un parque exterior. Esto es así, porque a diferencia de un transformador de aceite, el transformador en seco no llega a tan altas temperaturas y no requiere un tanque de desalajo del aceite par maniobras de mantenimiento.

Se ubicará en una celda que tendrá un acceso para labores habituales de mantenimiento desde la celda delrectificador.Además, dispondrá de un acceso de mayor tamaño para introducirlo mediante un carril. La alimentación del transformador de potencia se llevará a cabo mediante conductor aislado de cobre constituido por tres cables unipolares de 150 mm² de cobre tipo RHV-18/30 kV, adecuada al régimen decarga y de

aislamiento de polietileno reticulado adecuado a la tensión asignada de la línea de acometida.

El régimen de cargas será:

- 1,0 veces la corriente nominal continua de manera permanente.
- 1,5 veces la corriente nominal continua durante dos horas, partiendo del régimen anterior.
- 3,0 veces la corriente nominal continua durante cinco minutos, partiendo del régimen anterior

Dispondrá de los devanados secundarios con una tensión asignada 1.300 V (con nivel de aislamiento de 3,6 kV). Entre primario y secundario del transformador se establecerá una pantalla con conexión a tierra. Los transformadores de potencia responderán a las exigencias previstas en la homologación de los transformadores para tracción y/o especificaciones técnicas vigentes.

3.4.2.2 Rectificadores de potencia

La subestación estará equipada con dos rectificadores de potencia de características técnicas principales detalladas a continuación.

La rectificación de potencia se efectuará con diodos de silicio, a través de dos puentes trifásicos en serie. La potencia de cada grupo será de 3.000 kW, con una intensidad nominal de 910 A y una tensión de 3.300 V, [12].

Las cargas y sobrecargas son las siguientes:

- 1,0 veces la corriente nominal continua de manera permanente
- 1,5 veces la corriente nominal continua durante dos horas, partiendo del régimen anterior.
- 3,0 veces la corriente nominal continua durante cinco minutos, partiendo del régimen anterior.

La refrigeración será natural y estará provista de protecciones que detecten su temperatura excesiva. El rectificador estará protegido contra sobrecargas de origen externo o interno.

Las ramas en paralelo estarán protegidas por fusibles rápidos de alto poder de ruptura, ante cortocircuitos internos. Los extrarrápidos de *feeder* y el disyuntor de grupo, protegerán a éste frente a cortocircuitos externos, es decir, el rectificador estará dimensionado para soportar los cortocircuitos externos durante el tiempo de funcionamiento de las protecciones.

En el lado de continua, cada rectificador contará con un relé de protección contra posibles derivaciones a masa. Además, los rectificadores contarán con una, o varias sondas termométricas, instaladas sobre determinados radiadores de diodos, que impedirán que estos elementos alcancen temperaturas excesivamente elevadas, disponiendo de dos niveles máximos de temperatura: alarma y desconexión.

3.4.2.3 Filtro de armónicos

Los filtros de armónicos estarán constituido por una bobina de autoinducción con núcleo de aire y un conjunto de circuitos sintonizados para el filtrado de armónicos correspondientes a las frecuencias de 600-1.200 Hz, con la bobina conectada en el positivo.

Las bobinas de los circuitos sintonizados, serán de núcleo de aire, y una resistencia de valor adecuado, configurarán la característica de amortiguamiento, para tener en cuenta las variaciones admisibles, que tienen lugar en la frecuencia de la tensión de alimentación en alterna de la subestación.

3.4.2.4 Bobina de aplanamiento

La bobina de aplanamiento deberá cumplir la Especificación Técnica ET 03.359.115.7 “Bobinas de Alisamiento para Subestaciones de Tracción Eléctrica”. Estará formada por pletinas de aluminio o pintadas con aislamiento para 15 kV y autoinducción del orden de 0,6 mH, si bien su valor definitivo se obtendrá con el acoplamiento de los filtros.

La bobina será de ejecución al aire con una intensidad de 910 A. Las sobrecargas previstas que pueden soportar son las mismas que las del rectificador.

3.4.3 Celdas de corriente continua 4 kV.

Las cabinas de corriente continua serán prefabricadas y ubicadas en el interior del edificio técnico en uno de sus laterales, concretamente al lateral más próximo a la vía ya que desde la parte exterior de los *feeders* se tenderá la acometida de *feeder* hasta la catenaria. Además serán extraíbles las cabinas que corresponden a las salidas de *feeders*. Las cabinas de 4 kV serán ocho en número, una cabina por grupo de tracción y una por cada una de las seis salidas de *feeder*. Esta es la configuración más típica para desde los seis *feeders* alimentar las vías.

A continuación se describe cada tipo de celda de corriente continua de 4 kV y sus especificaciones técnicas, [10] [11].

Características generales para las celdas:

- Tensión nominal 4 kV
- Máxima corriente cortocircuito 55 kA



Figura 10 – Celdas de seccionamiento

3.4.3.1 Celda seccionador de grupo 1 y acoplamiento de barras ómnibus

Se instalará una cabina de seccionamiento de grupo y acoplamiento de barras ómnibus, configurada mediante sistema de cabina prefabricada compuesta por, [10] [11] [12]:

- Sistema de armario, incluida construcción y cableado tipo de protección.
- Sistema de barras ómnibus compuesta por dos pletinas de cobre de (100x10) mm.
- Seccionador monopolar 7,2 kV, 3.150 A, accionamiento motor 110 Vcc, accionamiento manual, para el Grupo 1.
- Seccionador monopolar 7,2 kV, 3.150 A, accionamiento eléctrico con motor alimentado a 110Vcc y accionamiento manual para la unión de las barras ómnibus.
- 1 placa medida tensión de grupo e interconexiones.
- Amperímetro escala 0-3.000 A.
- Transductores de intensidad 7,2 kV, relación 3000/1 A. Potencia 60 VA. Clase 1 Aislamiento galvánico.
- Voltímetro escala 0-4 kV.
- Transductores de tensión 0-4 kVcc/0,4 Vcc.
- Juego de fusibles automáticos y relés auxiliares para funciones de mando.

- Interruptor de mando y confirmación S.O.S.
- Esquema sinóptico.
- Pulsador para desbloqueo.
- Pulsador prueba de lámparas.
- Avisador luminoso para fallo/bloqueo.

El seccionador de grupo y el seccionador de acoplamiento de barras ómnibus, como se ha indicado, estarán equipados con mando eléctrico para la actuación mediante telemando y sus posiciones quedarán señalizadas en el armario de mando y control y en el cuadro central de telemando correspondiente.

El seccionador de acoplamiento de barras ómnibus permanecerá normalmente abierto, trabajando cada grupo con sus respectivos *feeders*, y solo en el caso de que se averíe alguno de ellos, se cerrará este seccionador envacío, para lo cual es necesario que estén desconectados el disyuntor de alterna del grupo averiado y todos los extrarrápidos que fueron abiertos para reponer el servicio de la subestación, a través del otro grupo existente.

El control de esta cabina se realizará desde el armario de mando y control del Grupo 1 y Grupo 2. El proceso que sigue la maniobra se describe en la normativa y especificaciones técnicas de cada administrados de instalaciones ferroviarias.

3.4.3.2 Celda de seccionador de grupo 2 y seccionador de posible subestación móvil

Se instalará una cabina de seccionamiento de grupo y acometida de subestación móvil, configurada mediante el sistema de cabina prefabricada, compuesta por [10][11][12]:

- Sistema de armario, incluida construcción y cableado tipo de protección IP2X.
- Sistema de barras ómnibus compuesta por dos pletinas de cobre de (100x10) mm.
- Seccionador monopolar 7,2 kV, 3.150 A, accionamiento motor 110 Vcc y accionamiento manual.
- Seccionador monopolar 7,2 kV, 3.150 A, accionamiento manual.
- Una placa medida tensión de grupo e interconexiones.
- Amperímetro escala 0-3.000 A.
- Transductores de intensidad 12 kV, relación 3.000/1 A. Potencia 60 VA. Clase 1 Aislamiento galvánico.
- Voltímetro escala 0-4 kV.

- Transductores de tensión 0-4 kVcc/0,4 Vcc.
- Juego de fusibles automáticos y relés auxiliares para funciones de mando.
- Interruptor de mando y confirmación S.O.S.
- Esquema sinóptico.
- Pulsador para desbloqueo.
- Pulsador prueba de lámparas.
- Avisador luminoso para fallo/bloqueo.

El seccionador de grupo, estará equipado con mando eléctrico para la actuación mediantetelemando y su posición quedará señalizada en el armario de mando y control y en el cuadro central detelemando correspondiente.

En esta celda se encuentra el seccionador que habilitaría la posible futura subestación móvil. Por defecto se encontrará abierto, hasta que por necesidad sea requerido su cerramiento para dar continuidad al circuito que formaría la subestación móvil.

El control de esta celda se realizará desde el armario de mando y control del Grupo 1 y Grupo 2. El proceso que sigue lamaniobra se describe en las especificaciones y normativa de cada administrador de instalaciones ferroviarias.

3.4.4 Salidas de *Feeders*

3.4.4.1 Salidas de *Feeder* parte interior

Se instalarán un total de seis celdas de *feeder* totalmente equipadas.

Las celdas serán ejecutadas mediante el sistema de cabina prefabricada, con las dimensiones indicadas en losplanos de este proyecto.

Cada celda equipada estará compuesta de [10] [11] [16]:

- Sistema de armario, incluida construcción y cableado, tipo de protección IP2X, en técnicaextraíble.
- Sistema de barras colaterales como barra de servicio de cobre 2 x 100 x 10 mm².
- Carro enchufable completo, compuesto de:
 - 1 extrarrápido-interruptor de potencia de CC homologado con tensión de servicio nominal 4.000 Vcc, disparador de tensión 110 Vcc, 2 interruptores auxiliares, palanca accionamiento, carro disparador de sobreintensidad con margen de regulación 2 a 5 kA,

- 2 contactos enchufables, cableado completo, interruptor final de carrera posición de prueba de carro enchufable, 50 kA de capacidad de corte.
- 2 trampillas de protección.
- Pulsador para confirmación.
- Aislador luminoso para carro enchufable, posición de prueba.
- Aislador luminoso para bloqueo/fallo.
- Esquema sinóptico.
- Juego de fusibles automáticos y relés auxiliares para las funciones de mando.
- Pintura estándar.
- Transductor de tensión 0-4 k Vcc/0-10 Vcc.
- Shunt de intensidad 2.500/60 mV.
- Voltímetro escala 0-4 kV, entrada 0-4 Vcc.
- Amperímetro escala 0-3.000 A, entrada 0-1 A.
- Analizador de línea aérea de contacto para subestaciones de tracción en corriente continua, constituido por dos partes fundamentales, placa de ensayo y autómata programable y que realiza las funciones de [9] [12]:
 - Análisis del nivel de aislamiento existente entre línea aérea de contacto (L.A.C) y carril, cuando la barra ómnibus se encuentra en tensión y la L.A.C. está desenergizada.
 - Análisis del nivel de aislamiento entre la barra ómnibus y carril, cuando la L.A.C. se encuentra en tensión y la barra ómnibus está desenergizada.
 - Análisis de los umbrales de tensión existente entre la barra ómnibus de la SSEE y la que pudieran presentar la L.A.C., cuando ambas están energizadas.
 - Autómata programable 24 Vcc para control de un *feeder* constituida por: Unidad procesadora, chasis, tarjetas de entrada y salidas digitales, tarjetas de entradas analógicas, chasis y resto de accesorios necesarios.

En cada celda de salida de *feeders* se instalará un transductor de intensidad y otro de tensión para alimentar al analizador de calidad y registro de energía y fallas, instrumento situado en el panel de centralización de sistema de gestión de calidad de la energía.

3.4.4.2 Salida de *Feeders* parte exterior

El pórtico de *feeders* tendrá seis salidas de *feeders* equipadas, para cada salida de *feeder* equipada dispondrá de los siguientes aparatos, [9]:

- 2 Seccionadores unipolares para servicio de exterior para salida de *feeder* y de *by-pass*, 3.150 A, tensión de aislamiento 17,5 kV.
- 2 Accionamientos eléctricos para seccionador de salida de *feeder* y de *by-pass*, equipado de contactos auxiliares, con motor alimentado a 110 Vcc, enclavamientos y resto de accesorios para su correcto funcionamiento.
- 2 Transmisiones para seccionador de salida de *feeder* y de *by-pass*, equipado con su transmisión, bridas, tubos, aislador intermedio, apoyo intermedio, cambio de dirección, reenvíos y resto de accesorios.
- Un detector de tensión, tipo analógico, 4 kV, aislamiento 17,5 kV, con divisor de tensión, relé detector de tensión, convertidor fibra óptica y 50 m de fibra óptica mínimo, convertidor digital analógico, unidad de alimentación 110 V / 24 Vcc y parte proporcional del subastidor, del armario y otros componentes del armario de relés.

Dispondrá de un armario para relés detectores de tensión.

Dispondrá de dos detectores de tensión adicionales en las barras *by-pass*.

Se instalará un relé de masa, equipado con todos sus accesorios. Las barras de *by-pass* estarán constituidas cada una por pletina de cobre de 100x10 mm².

Se instalará en la pared de la subestación bajo el pasamuros de cada *feeder* un pararrayos autoválvula exterior de 3.300 V para protección de *feeder*, corriente continua con aislamiento de polímero-silicona, 4,5 kV. Intensidad nominal de descarga 10 kA.



Figura 11 – Pórtico de *Feeders*

3.4.4.3 Acometida de *feeders* a catenaria

Del pórtico de *feeders* se tenderán seis *feeders*, con los conductores desnudos de Cu 2(1x300) mm², para conectar con la catenaria.

El puesto satélite y de mando local (PLO) de los seccionadores existentes en los *feeders* se encuentra en sala ubicada en la subestación según se puede apreciar en el Plano 00, Planta del edificio técnico.

Debe instalarse un aislamiento en las comunicaciones con el PLO de seccionadores de catenaria. Con el objeto de aumentar la maniobrabilidad y favorecer el futuro mantenimiento del sistema se ha previsto la instalación de un telemando de seccionadores de catenaria desde el puesto central más próximo. Por este motivo, la sala provista para el PLO está ubicada en la esquina más cercana a la salida de los *feeders* y con acceso desde el exterior del edificio de control, consiguiendo que los operarios de mantenimiento no necesiten tener acceso al edificio de control para operar dentro del PLO.

El sistema de telemando de seccionadores de catenaria se implementa a través de un bus de comunicaciones que va de seccionador en seccionador tendido de poste a poste salvo en los cruces de vía y a la salida del armario que se realiza en canalización entubada. Junto con el cable de dicho bus va la alimentación de las tarjetas de comunicaciones y el cable de energía de alimentación a los accionamientos hidráulicos de los seccionadores.

3.4.5 Circuitos de retorno

Desde el armario de negativos de la subestación hasta el carril o la junta inductiva situada frente a la subestación en la zona de vías se tenderán doce cables de Cu RV 0,6/1 kV 1x240 mm².

3.4.6 Servicios auxiliares en la subestación

3.4.6.1 Servicios Auxiliares para alta tensión en C.A.

Para la alimentación de servicios auxiliares se instalará una cabina blindada en SF₆ de simple barra; 36 kV; 1.250/630 A; 20 kA; equipadas con:

- Interruptor-seccionador en carga 400 A, 3 posiciones y mando manual.
- Bases portafusibles con fusibles combinados con el interruptor seccionador.
- Tres Fusibles de 36 kV de 12 A.
- Manómetro de alarma de medida de presión de gas de la cuba de interruptor.
- Un indicador de presencia de tensión asociados a los pasatapas.
- Un conjunto de elementos de baja tensión (relés auxiliares, automáticos, bornas, etc.).
- Pasatapas para salida para 1 cable por fase.

El transformador de servicios auxiliares será tipo interior seco encapsulado, serie 36 kV, tensión primaria 30kV tensión secundaria 220-127 V. Cuenta con una potencia de 250

kVA, una tensión de cortocircuito mínima 4 % y refrigeración tipo AN. Estará equipado con dispositivo para protección del transformador por elevación de la temperatura.

El Transformador de servicios auxiliares irá instalado con una envolvente metálica equipada con un electro-ventilador, elementos auxiliares de mando, control, protección, señalización, alumbrado interior y puesta a tierra.

3.4.6.2 Servicios Auxiliares para baja tensión en C.A.

Del transformador de servicios auxiliares con cable de cobre aislado de $3 \times (2 \times 240) + 2 \times 240 \text{ mm}^2$, 0,6/1 kV, se alimentará el cuadro de distribución y protección en baja tensión de servicios auxiliares

Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Las citadas salidas se utilizarán para los servicios que a continuación se detallan:

- Alimentación cuadro de servicios auxiliares
- Alimentación cabina de señales
- Otros usos distintos de tracción
- Reserva

Del cuadro de distribución y protección en baja tensión de servicios auxiliares, saldrá una línea cables de cobre aislados de $3 (1 \times 240) \text{ mm}^2 + 1 \times 240 \text{ mm}^2$ 0,6/1 kV para alimentar el armario de servicios auxiliares situado en la misma planta. Desde este armario se alimentará todos los servicios auxiliares de la subestación.

De igual forma el cuadro de alumbrado y fuerza se alimentará con circuitos independientes desde el embarrado general de baja tensión del armario de servicios afectados de 3x220 V.

3.4.6.3 Servicios Auxiliares para baja tensión en C.C.

La alimentación a los servicios auxiliares de corriente continua a 110 V de la subestación se realizará desde el armario de servicios auxiliares en corriente continua. Este cuadro se alimentará desde las salidas de los conjuntos cargador rectificador – batería, mediante cable de Cu de sección 95 mm² y aislamiento 0,6 / 1 kV.

Este cuadro estará equipado con un interruptor, pletinas de cobre debidamente protegidas para la distribución de los diferentes circuitos de 110 Vcc y 24 Vcc.

La relación de servicios auxiliares a 110 V c.c. de la subestación son los siguientes:

- Circuitos de cierre de interruptores
- Circuitos de disparo de protecciones
- Circuitos de protecciones
- Circuitos de alimentación de motores interruptores y seccionadores
- Circuitos de control en cuadros de servicios auxiliares
- Circuitos de control cuadro de distribución 230 Vca.

- Alumbrado de socorro
- Convertidores de 110 V y 24 V.

3.4.7 Cargadores de batería y baterías 110 Vcc

Se instalará un armario equipado con dos cargadores de batería y conjunto de baterías de 200 A/h. Los equipos cargadores – rectificadores a instalar cumplirán con las características, [14] [15]:

- Frecuencia 50 Hz
- Intensidad nominal a cada rectificador 80 A
- Tensión asignada 110 V
- Máxima variación de la tensión $\pm 15\%$
- Dispondrán de estabilizador de tensión de salida

Por su parte, las baterías de 110 V c.c. tendrán las siguientes características:

- Capacidad: 200 A/h.
- Baterías compuestas de 86 elementos de Níquel – Cadmio
- Autonomía de la batería 10 h

Deberán contar con las alarmas correspondientes al fallo del cargador, puesta a tierra del positivo o negativo, tensión alta en corriente continua, tensión baja en corriente continua, fallo de red de alterna, etc. Dispondrá de unidad reductora de tensión.

Este equipo tendrá capacidad para hacer frente a la demanda de los equipos que alimenta durante un mínimo de diez horas en situación degradada de energía.

Las salidas de cada conjunto cargador – rectificador / batería estarán unidas mediante un dispositivo antiretorno de corriente, de forma que ambos estén funcionando simultáneamente alimentando los servicios y caso de fallo de uno de ellos no se produzca ninguna interrupción en el suministro. Cada uno de ellos podrá asumir la totalidad de la carga.

En condiciones habituales los cargadores – rectificadores alimentarán los servicios y mantendrán las baterías en flotación. Las puntas de corriente y sobrecargas serán aportadas por las baterías.

3.4.8 Alumbrado, fuerza y otros servicios

En el interior del edificio se instalará un cuadro eléctrico para protección y mando de los circuitos de alumbrado y fuerza de la subestación, éste estará alimentado desde el cuadro de servicios auxiliares a 230 V. Los circuitos alimentados desde el cuadro de alumbrado y fuerza serán:

- Circuitos de alimentación a tomas de corriente.
- Circuitos de alumbrado y bases interiores.
- Alumbrado interior.

- Alumbrado de emergencia.
- Alumbrado exterior.

Se calcula la correspondiente instalación de alumbrado y baja tensión, realizándose un plano de planta de la misma, en el mismo se define las características de la instalación, indicando la situación del cuadro general de mando y protección, el cual se realizará según el esquema unifilar. La distribución se realizará de tres maneras:

- En bandeja de PVC:
- Bajo tubo en falso techo:
- Bajo tubo empotrado

Se dispone una red de fuerza interior, que permita la conexión de los extractores, termo eléctrico y posible instalación de aire acondicionado. A su vez se distribuyen tomas de corriente monofásica y trifásica por los diferentes locales del edificio de la subestación

3.4.8.1 Alumbrado interior

El alumbrado interior de las salas de los transformadores de potencias se realizará mediante pantallas con tres tubos fluorescentes empotradas de 2x56 W que permitan una intensidad lumínica media por encima de los doscientos lux. y el aseo contará con luminarias *downlight* de adosar de 2x32 W. Adicionalmente se utilizarán luminarias de tubos fluorescentes 4x32 W y 4x18 W para el resto de locales del edificio técnico. Las luminarias se han elegido según [4].

3.4.8.2 Alumbrado de emergencia y de socorro

De acuerdo a la vigente reglamentación, se dotará al edificio de alumbrado de emergencia, mediante puntos de luz en número suficiente, que permita el acceso a cualquier punto del mismo. En caso de fallo de suministro, del mismo modo se dispondrá de alumbrado de socorro a 11 W, 110 V en corriente continua, alimentado por las baterías previstas, tal como se especificará en planos.

3.4.8.3 Alumbrado exterior

El alumbrado exterior se realizará mediante proyectores de 250 W. Además, a lo largo del perímetro del edificio de control se colocarán brazos de fijación mural con luminarias de 100 W para una eficiente iluminación. Todo el alumbrado exterior, a excepción del de emergencia, será encendido y apagado mediante célula fotoeléctrica conectada en el cuadro general.

3.4.9 Equipos de alimentación a la línea de señalización

3.4.9.1 Alimentación a las líneas de señales en BT

Cabinas de alimentación a las líneas de señalización ferroviarias

Del cuadro de distribución y protección en baja tensión a 220 V, se alimentará el transformador de 100 KVA trimonofásico, de relación 220/2.200-3.000 V, que estará conectado a dos salidas de línea de distribución monofásica a $2.200\text{ V} \pm 5\%$, paralelas a las vías, que suministrarán energía a través del transformador reductor del sistema de señalización. Esta celda irá ubicada en una sala específica de los equipos de señalización en la subestación.

Dicha alimentación en BT a 220 V será suministrada del transformador de 250 kVA de servicios auxiliares e independiente al suministro de los propios servicios auxiliares de la subestación.

3.4.9.2 Alimentación a las líneas de Señales en A.T.

Cabinas de alimentación a las líneas de señalización ferroviarias

Estas cabinas serán metálicas prefabricadas para servicio de interior. Este transformador de 100 kVA irá alojado en una cabina metálica y en el lado de alta tensión contará con el seccionador en carga, con transformadores de protección y de medida para cada una de las dos líneas de alimentación a la actual señalización a 2.200V.

El transformador trimonofásico de tipo seco será de las características principales siguientes:

- Potencia nominal: 100 kVA
- Tensión primaria: 3 x 220 V 50 Hz
- Tensión secundaria: 2 x 2.200-2 x 3.000V
- Refrigeración: AN
- Equipado con accesorios normales

La celda de *by-pass* telemandado a 2.200 V estará equipada con interruptor seccionador bipolar, de tensión nominal 12 kV, 630 A y accionamiento eléctrico. Esta celda alimentará a dos celdas de señales equipadas con seccionador bipolar de 12 kV, 630 A, transformador de intensidad de tensión nominal 12 kV, transformador de tensión de señales de relación 2.200/110-110 V. Desde la citada celda de *by-pass* telemandado se alimentará un transformador monofásico de 2200/220 V protegido con su correspondiente interruptor-seccionador bipolar.

La alimentación de la cabina de llegada de BT será mediante cable aislado de cobre 3(1x240) mm² 0,6 /1 kV, material auxiliar y accesorios de montaje.

La tensión auxiliar de 110 Vcc necesaria para mando y control de conjunto de cabinas será suministrada por el equipo cargador de batería de 40 Ah que se instala dentro de la sala de señales junto al resto del equipo.

Desde las cabinas de salida de línea de señales hasta la arqueta de señales situada junto a la vía s se tenderán 2 cables de 3,3 kV de 35 mm² de Aluminio para alimentar cada una de las 2 salidas de señales dirección las estaciones de control más próximas.

3.4.10 Gestor de protecciones

Este equipo mediante una lógica determinada, supervisará permanentemente los distintos elementos de la subestación, efectuando las desconexiones correspondientes en la propia SE y en las SE colaterales por alguna de las siguientes causas:

- Puesta a masa de grupo/s.
- Puesta a masa de *feeder*/s.
- Puesta a masa de pórtico.
- Desconexión automática.
- Detección de bombeo de un disyuntor-extrarrápido.
- Identificación de posición en seccionador de salida de grupo.
- Identificación de posición en seccionador de unión de BBOO.
- Identificación de posición en seccionador de salida de *feeders*.
- Identificación de posición en seccionador de *by-pass*.
- Orden de desconexión de la SE colateral.
- Fallo de comunicación entre SE.
- Defecto en catenaria.
- Desconexión general.

Así mismo, supervisará permanentemente otros elementos exteriores a la subestación, efectuando las acciones que correspondan en la propia subestación y en las subestaciones colaterales en función de la posición de éstos elementos:

- Indefinición de posición o cerrados Seccionadores de Punta de *Feeders* L.A.C.
- Indefinición de posición o cerrados Seccionadores Unión Vía Impar L.A.C.
- Indefinición de posición o cerrados Seccionadores Unión Vía Par L.A.C.

3.4.11 Mando y control de la subestación

3.4.11.1 Mando y control de la instalación

El sistema de mando y control de la subestación mediante el Sistema de Control Distribuido realizado mediante lógica programada conforme a la especificación técnica vigente. El control distribuido constará de una serie de unidades de control aplicadas a los subsistemas de la subestación y las unidades de control estarán realizadas con autómatas programables, estos autómatas serán capaces de funcionar y realizar tareas independientes entre ellos; los autómatas estarán unidos entre sí por medio de un bus de

comunicaciones (común), formando una red descentralizada del sistema de control y por medio de esta línea podrán intercambiarse la información necesaria para la correcta combinación entre todos los subsistemas. Se incluirá en un armario el PLC archivo de memoria.

Los elementos de la SE susceptible de control por PLC's se agruparán en bloques funcionales según la distribución siguiente:

- Línea de llegada nº 1: Entrada de la A.T. en la subestación.
- Línea de llegada nº 2: Entrada de la A.T. en la subestación.
- Equipo de medición y control de energía: Comprende la medida en A.T. y con servicios auxiliares de AT y BT
- Grupo rectificador nº 1: Realiza la rectificación de la corriente alterna a la continua.
- Grupo rectificador nº 2: Realiza la rectificación de la corriente alterna a la continua.
- Salida de *feeder*: Acopla la tensión continua a la catenaria. (F1-F6).
- Salidas a líneas de señalización Alimentación a las dos líneas de señales.

Cada uno de estos bloques de entrada estará controlado por un PLC y cada uno realizará el control de Modo Manual, semiautomático o automático.

La SSEE también puede ser telemandada desde el Centro de Telemando. Cuando el mando está en local, solo se permiten accesos desde el frente de celdas o desde el Puesto de Control Local. No tienen efecto los telemandos desde el Centro de Telemando correspondiente. Cuando el mando está en Telemando, solo se permiten accesos desde el Centro de Telemando correspondiente.

3.4.12 Armario de negativos

Se instalará en un armario en el interior del edificio. Dispondrá de dos pletinas de tracción de 100x10 mm en las que se conectarán los negativos de ambos rectificadores y de ellas partirán los cables para ser conectados a los carriles, constituyendo el negativo del circuito de tracción.

Dispondrá de dos pletinas de tierra-masa de 100x10 mm en las que se conectarán las tierras y masas de la subestación.

Ambos conjuntos de pletinas quedarán unidos mediante un transductor de intensidad que permitirá medir la corriente que pasa de un conjunto al otro y en qué sentido lo hace, permitiendo con ello su control, sin que afecten las perturbaciones.

Se considerará positiva cuando la corriente circule de tierra a negativo, y se considerará negativa cuando la corriente circule de negativo a tierra. Este dispositivo tendrá diferentes escalones de señalización de alarmas y deberá garantizar el dimensionamiento de la red de tierras.

3.4.13 Redes de tierra y masa

3.4.13.1 Red de tierra

La configuración del sistema de puesta a tierra estará compuesta de la siguiente malla según los cálculos detallados en el capítulo de Cálculos eléctricos:

- Malla enterrada a base de carril de ferrocarril de 45 kg/m de 5.705 mm² con picas de acero recubiertas de cobre de 300 micras de 2,5 m de longitud Ø 25 mm, que constituyen una red mallada simétrica de una superficie 25,67 x 17,87 m, formada por cinco carriles longitudinales de 25,67 m y nueve carriles transversales de 17,87 m. La malla sobresaldrá un metro sobre la planta de la subestación en el plano horizontal, excepto por su parte colindante con el andén.

Resistividad de la capa superficial del terreno de $\rho_s=3000 \Omega \cdot m$.

Profundidad de malla 2 m respecto de la superficie natural del terreno de la subestación.

Datos eléctricos de partida considerados:

- La intensidad de defecto a disipar por la red de tierras según datos proporcionado por la compañía eléctrica tiene un valor de 6.500 A
- Tiempo de operación de la unidad de protección de tierra de la Compañía 0,5 s.

3.4.13.2 Red de masas

Con el objetivo de detectar derivaciones del positivo de tracción en el interior de la subestación deben existir las siguientes redes de masa:

- Red de masa de grupo. Dispondrá de una por cada uno de los grupos transformador-rectificador instalado. La ubicación física del relé de puesta a masa será en la celda del rectificador, lo más alejado posible de la bobina de alisamiento. Se conectarán a la red de masa de grupo los siguientes elementos:

- El bastidor del rectificador.
- El bastidor del filtro de armónicos.
- El soporte del transductor de intensidad de medida en CC del grupo.

- Red de masas de *feeders*. Dispondrán de una red de masas única para todas las cabinas de corriente continua. Se conectarán a la red de masas de las cabinas de corriente continua todas las celdas de CC.

- Red de masa de pórtico de *feeders*: Dispondrá de una red de masas para todos los equipos instalados en él. El relé de puesta a masa se instalará en uno de los apoyos del pórtico en un armario, aislado del mismo. Se conectarán a la red de masas del pórtico de *feeders*:

- El bastidor de los seccionadores de salida de *feeder*.
- El bastidor de los seccionadores de *by-pass*.
- El dintel de seccionadores de salida de *feeder*.
- El dintel de seccionadores de *by-pass*.
- Dintel de reenvíos.

Todos los elementos de las redes de masa en una instalación de tracción se dimensionarán considerando las máximas intensidades de defecto y un tiempo para cálculos nunca inferior a un segundo, no debiendo alcanzar los mismos una temperatura máxima de 200° C.

La sección establecida para la red de masas tiene que ser mantenida en todo su recorrido hasta su conexión a tierra. Esta conexión se realizará en la pletina de tierra del armario de negativos.

La conexión de la línea de masa-tierra ha de ser directa, sin ningún tipo de conexión intermedia, mediante uncable de 300 mm² de cobre con aislamiento 0,6/1 kV.

3.4.14 Protección contra incendios

La instalación se ha diseñado como una instalación con sistema de detección automática, complementada con medios de extinción manual.

Como circunstancias singulares de explotación hay que señalar las siguientes:

- No permanencia continuada de personal en el centro de transformación, siendo esta presencia esporádica para las labores propias de revisión y mantenimiento.
- Asimismo por la concepción constructiva el edificio está dotado de adecuados y suficientes accesos para garantizar una correcta evacuación no existiendo ningún punto de trabajo a una distancia de puerta de evacuación superior a 20 m.
- La estructura del edificio es metálica, a la que se le ha dado una protección pasiva contra incendios mediante aplicación de pintura intumescente.

3.4.14.1 Descripción de la instalación.

Por el funcionamiento propio del centro se ha estimado adecuado compartimentar el mismo, en cuatro zonas de detección automática que son:

- Zona de detección de salas de transformación y rectificación a tensión continua: Contiene un transformador de potencia de 3300 kVA, un rectificador para 3000 kW, una bobina y los filtros de armónicos.

Es un foco importante de calor por lo que se le ha dotado de un sistema continuo de extracción de aire.

- Zona de detección de Salas de transformación y rectificación a tensión continua: Contiene un transformador de potencia de 3300 kVA, un rectificador para 3000 kW, una bobina y los filtros de armónicos.

Es un foco importante de calor por lo que se le ha dotado de un sistema continuo de extracción de aire.

- Sala general. Esta sala contiene tres zonas diferenciadas que son:
 - Zona de cabinas trifásicas de 36 kV encapsuladas en SF6.
 - Zona de cabinas de corriente continua.
 - Zona de transformador de servicios auxiliares.
 - Zona de armarios de mando y control.

Esta zona asimismo está dotada de ventiladores para la extracción de aire, aunque las necesidades de renovación son menores que las salas de transformación.

- Zona de Oficina. Considerada como un único sector, comprende un puesto de trabajo equipa con equipo informático. Se valorará la instalación de un sistema de climatización.
- Sala de Señales. Considerada como un único sector, comprende los armarios de señales. Dotada de sistema de ventilación.
- Sala de Comunicaciones. Considerada como un único sector, comprende el armario de comunicaciones y los equipos del tren tierra. Dotada de sistema de ventilación.
- Zona del PLO. Considerada como un único sector, comprende el Puesto Local de Operación de los seccionadores de catenaria. Dotada de equipos de extracción forzada de aire.

3.4.14.2 Sistema de extinción

Para la protección de la subestación eléctrica, se instalarán extintores portátiles de incendios atendiendo a los siguientes criterios básicos:

- Se instalará un extintor de polvo químico seco polivalente, de presión incorporada, cargados con 6 kg de polvo ABC y con válvula de descarga, manómetro, manguera con boquilla de descarga y soporte, de eficacia mínima 21A-113B.
- Se instalarán extintores de CO2 en las entradas a los cuartos con aparatos, equipos, líneas, máquinas o cuadros eléctricos, junto con un extintor de polvo ABC. Los extintores de polvo ABC son más eficaces pero dejan residuos y pueden inutilizar los equipos, mientras que los extintores de CO2 tienen una eficacia menor pero no dejan residuos. De esta forma al instalar los dos extintores nos aseguramos por un lado la eficacia de extinción del polvo ABC si el fuego es intenso, y por otro con el CO2 no inutilizar los equipos en fuegos menores.

- Se instalarán de manera que la distancia a recorrer horizontalmente desde cualquier punto del área protegida hasta alcanzar el extintor más próximo no exceda de 15 m.
- Se fijarán a paramentos verticales de manera que la altura superior del extintor al suelo no sea mayor a 1,70 m del suelo.
- Todos los extintores estarán homologados por el Ministerio de Industria y cumplirán las normas UNE-EN 23010. Se instalarán en lugares fácilmente visibles y accesibles y estarán señalizados. Llevarán manguera, boquilla direccional y dispositivo de interrupción de salida de agente extintor.

3.4.15 Control de accesos e interfonía

Se instalará un sistema de control de accesos para acceder a la subestación. El sistema estará basado en un lector de acceso que permitirá, cuando se valide la tarjeta del usuario. De este modo en la subestación eléctrica de tracción se instalarán los siguientes equipos:

- Una central de acceso con capacidad ubicada en la oficina del edificio de la subestación
- Lectores de tarjetas.
- Un interfono. Se dispondrá una central de accesos que gestionará la información de los eventos que registren los lectores, será capaz de administrar zonas horarias y distintos niveles de acceso a cada miembro del personal. Para programar las tarjetas se empleará teclado con pantalla LCD, con posibilidad de programación local o remota.

El sistema de control de accesos, se apoyará además en un sistema de interfonía que permita contactar al usuario con el puesto de control en caso de fallo o emergencia.

Los interfonos dispondrán de comunicación IP, al igual que el subsistema de control de accesos, y se conectará al *switch* que estará conectado a través de la red al centro de control correspondiente; lugar donde estará instalada la central de interfonía con las tarjetas de abonado necesarias, así como un puesto de recepción de llamadas.

3.4.16 Vídeo vigilancia

El equipamiento necesario para llevarla a cabo será el siguiente:

3.4.16.1 Cámaras

En el exterior se instalarán cámaras para poder obtener imágenes de su exterior y cámaras para obtener imágenes de su interior. Se instalará un circuito que permita su activación remota mediante la salida de alarmas.

El sistema de Circuito Cerrado de Televisión tendrá la particularidad de poder procesar imágenes, con el fin de poder dotar de protección perimetral de prevención de intrusión en la subestación. Para poder realizar el vídeo-análisis, será necesario un servidor de vídeo compacto por cada una de las cámaras, y un sistema de gestión y grabación digital de vídeo, con las correspondientes licencias necesarias para poder realizar estas tareas, solo aplicable a las cámaras exteriores.

Este sistema, al igual que el de intrusión, estará conectado con el sistema de control de accesos, de manera que pueda finalmente configurarse la inhabilitación de la grabación de imágenes cuando se produzca la entrada de un operario de la subestación mediante el lector de accesos.

3.4.16.2 Equipos

- Un servidor de vídeo compacto.
- Servidor-grabador para la gestión de vídeo inteligente.

3.4.17 Sistema de intrusión

3.4.17.1 Descripción

Para garantizar la seguridad del edificio de control de la subestación se instalarán detectores volumétricos de intrusión y contactos, que permitirán proteger las estancias y accesos de mayor riesgo.

La señal de alarma la enviarán los contactos magnéticos y los detectores volumétricos de doble tecnología al puesto central.

Los contactos magnéticos permitirán conocer el estado de las puertas (abierta o cerrada) y, en los casos correspondientes, provocarán el disparo de una alarma en la centralita de control.

Las puertas llevarán un solo contacto magnético.

Los sensores volumétricos irán conectados al centro de control para activar las alarmas adecuadas a cada caso, por tanto no se incluirán en los accesos desde el exterior al recinto.

3.4.18 Centralización de sistemas

Todos los subsistemas de seguridad instalados en la subestación quedarán centralizados en un rack.

La centralización de las transmisiones se realizará mediante un *switch* de 24 puertos Ethernet, que estará conectado con el *router/switch* de salida a la red corporativa.

Todos los dispositivos de centralización (sistema de gestión de CCTV, dispositivos de red...) se colocarán en un *rack* que estará protegido y ubicado en la sala de video existente en el edificio de control.

Será condición imprescindible para considerar viable la protección de una Subestación la existencia de conectividad mediante IP para acceso a elementos en remoto.

Para determinar la configuración definitiva de cada uno de los subsistemas deberá tenerse en cuenta la necesidad de reportar alarmas técnicas de todos los sistemas instalados a los centros de control de la Dirección de Protección Civil y Seguridad, DPCS, de forma que se puedan conocer las disfunciones de elementos en remoto.

La alimentación de todos los sistemas de seguridad se realizará a través del cuadro eléctrico de seguridad que se alimentará del cuadro eléctrico general de la subestación. Los cables que deberán utilizarse en el cuadro deberán de ser libre de halógenos y su sección estará en función de los consumos requeridos en cada caso.



Universidad
Carlos III de Madrid

PROYECTO FINAL DE CARRERA
Ingeniería Industrial Superior,
Febrero 2016

DOCUMENTO Nº2 CÁLCULOS ELÉCTRICOS

ÍNDICE

1. CÁLCULO DE LA POTENCIA EN LA SUBESTACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN	60
1.1 Cálculo de potencias de cortocircuitos en la subestación	61
1.2 CÁLCULO DE LOS DISYUNTORES Y DE LOS TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD PARA ENTRADAS DE LÍNEA Y DE GRUPOS TRANSFORMADORES	63
1.2.1 Intensidad a la entrada de la subestación	63
1.2.2 Cálculo disyuntores	63
1.3 CÁLCULO DE LA ACOMETIDA DE AT A LA LLEGADA DE LÍNEA DESDE LAS CABINAS DE CIA.....	64
1.3.1 Cálculo de los transformadores de intensidad.....	64
1.3.1.1 Cálculo de los transformadores de intensidad de protección y media a la llegada de la línea	64
1.3.1.2 Cálculo de los transformadores de cabina de grupo	65
1.4 CALCULO DEL EMBARRADO GENERAL DE LAS CABINAS DE AT	65
1.5 CÁLCULO DEL CABLE DE ALIMENTACIÓN A CADA TRANSFORMADOR DE POTENCIA	66
1.6 CÁLCULO DE LA ACOMETIDA AL RECTIFICADOR DE POTENCIA.....	67
1.7 CÁLCULO BARRA OMNIBUS.....	68
1.7.1 Justificación de la validez de la pletina 100x10 ante solicitaciones térmicas	68
1.7.2 Justificación de la validez de la pletina 100*10 ante solicitaciones electrodinámicas	70
1.8 CALCULO DEL CONDUCTOR POSITIVO Y NEGATIVO DE SALIDA DEL RECTIFICADOR	72
1.8.1 Justificación del cable aislado 3(1x300) mm ² ante solicitaciones térmicas	72
1.9 CÁLCULO DE LA ACOMETIDA Y PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES	74
1.10 CÁLCULO DE LA ACOMETIDA AL TRANSFORMADOR DE SEÑALIZACIÓN	75
2. CÁLCULO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	76
2.1 CONSIDERACIONES PREVIAS	76
2.2 RESISTIVIDAD DEL TERRENO A PROFUNDIDAD DE MALLA	76
2.2.1 Consideraciones previas	76
2.3 CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO	77
2.3.1 Valores máximos reglamentarios	77



2.4 VALORES TOTALES DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO EN CADA PUNTO DE UNA SUBESTACIÓN	78
2.5 MALLA DE RED DE TIERRAS	80
2.5.1 Cálculo de validez de la malla por tensión de paso y contacto	80
2.5.2 Justificación del cálculo de resistencia de puesta a tierra del conjunto malla-picas-conexiones a equipos.....	82
2.6 INTENSIDADES ADMISIBLES POR LOS ELECTRODOS DE LA RED DE TIERRAS	83
2.6.1 Cable enterrado	83
3. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA VENTILACIÓN.....	85
3.1 NORMATIVA APLICABLE	85
3.2 INSTALACIÓN DE VENTILACIÓN	85
3.2.1 Sala General.....	86
3.2.2 Salas de los rectificadores	87
3.2.3 Recintos de los transformadores de potencia	87
3.2.4 Sala del transformador de Servicios Auxiliares	88
3.2.5 Sala de señales y comunicaciones	88
3.2.6 Sala de vídeo	89
3.2.7 Sala PLO.....	90
3.2.8 Aseo.....	90
4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN	91
4.1 CÁLCULO DE LÍNEAS DE BAJA TENSIÓN.....	91
4.1.1 Criterio de la intensidad máxima admisible o de calentamiento	91
4.1.2 Criterio de la caída de tensión.....	92
4.1.3 Criterio de la intensidad de cortocircuito.....	94
4.1.4 Resultados obtenidos.	95
4.2 CÁLCULO DE ILUMINACIÓN	98
4.2.1 Alumbrado interior	98
4.2.1.1 Luminarias utilizadas.....	99
4.2.1.1.1 DOWNLIGHT 2X32 W	99
4.2.1.1.2 LUMINARIA PANTALLA ESTANCA 2X58 W	100
4.2.1.1.3 LUMINARIA FLUORESCENTES A ADOSAR 4X32 W	100
4.2.1.1.4 LUMINARIA FLUORESCENTES A ADOSAR 4X18 W	100
4.2.1.2 Estudio lumínicos de las salas.....	101
4.2.1.2.1 Sala general	101



4.2.1.2.2 Salas de los transformadores	102
4.2.1.2.3 Salas de los Rectificadores.....	103
4.2.1.2.4 Aseos	104
4.2.1.2.5 Sala de Señales	105
4.2.1.2.6 Sala de vídeo	106
4.2.1.2.7 Sala PLO.....	107
4.2.1.2.8 Oficina	108
4.2.1.2.9 Sala del transformador de SSAA.....	109
4.2.2 Alumbrado exterior	110
4.2.3 Alumbrado de emergencia.....	110
4.2.4 Alumbrado de seguridad.....	110
5. CALCULOS JUSTIFICATIVOS DE LA ACOMETIDA DE 30 KV	111
5.1 Cálculos eléctricos línea alta tensión 30 kV	111
5.1.1 Condiciones de partida	111
5.1.2 Cable adoptado.....	111
5.1.3 Dimensionamiento del cable.....	112
5.1.3.1 Cálculo del factor de corrección para temperaturas terreno distintas a 25 °C.....	114
5.1.3.2 Cálculo del factor de corrección para resistividad térmica del terreno distinta a 1.5 K.m/W	115
5.1.3.3 Cálculo del factor de corrección por distancia entre ternos.	117
5.1.3.4 Cálculo del factor de corrección para profundidades de la instalación distintas a 1 metro.	117
5.1.3.5 Cálculo del factor de pérdidas en pantallas conectadas en ambos extremos.....	118

1. CÁLCULO DE LA POTENCIA EN LA SUBESTACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

La subestación eléctrica de tracción estará alimentada a 30 kV y dispondrá de una potencia total instalada de:

- Dos transformadores de 3300 kVA cada uno, trabajando con un factor de potencia comprendido entre 0,97 y 1. En condiciones nominales de explotación uno de ellos en reserva del otro pero considerando la posibilidad de acoplamiento. Las sobrecargas previstas serán las establecidas en las normas de gran tracción, es decir, 1 vez la corriente nominal de manera permanente, 1,5 veces la corriente nominal durante dos horas partiendo de la situación anterior y de 3 veces la corriente nominal durante 5 minutos partiendo del estado anterior, [17].
- Un transformador de 250 kVA para servicios auxiliares de toda la subestación.

Para los cálculos eléctricos se han tomado los siguientes datos de partida:

- Intensidad de cortocircuito trifásica: 21,3 kA
- Intensidad de diseño mínima: 30 kA
- Potencia de cortocircuito máxima: 1.106,62 MVA
- Intensidad de defecto a tierra: 6,5 kA
- Tiempo de despeje de la falta a tierra: 0,5 segundos

Y de la aparamenta a instalar:

- Tensión de servicio: 30 kV
- Tensión asignada: 36 kV

Estos datos de partida han sido supuestos y serían los que proporcionaría la Compañía Suministradora Eléctrica en respuesta a la solicitud de suministro de energía. Dichos datos se obtienen de las condiciones técnicas y económicas que Compañía establece para que sea factible la conexión en un punto de su red eléctrica. Estas condiciones suelen incluir los datos eléctricos de conexión, las actuaciones necesarias a realizar por parte de compañía y por parte

de la empresa solicitante, un plano de ubicación de los apoyos de conexión que facilitan y un presupuesto acorde a la solicitud.

Para los cálculos a continuación realizados en este documento se han utilizado, adicionalmente a la normativa correspondiente, los reglamentos de alta tensión, baja tensión, líneas eléctricas de alta tensión, y el reglamento de centrales térmicas, subestaciones y centros de transformación, [18] [19] [20] [21].

1.1 CÁLCULO DE POTENCIAS DE CORTOCIRCUITOS EN LA SUBESTACIÓN

Conocida la tensión de suministro y la intensidad de cortocircuito trifásica podemos conocer la potencia de cortocircuito que tenemos presente con la siguiente fórmula:

$$S_K = \sqrt{3} * U * I_K * \cos\phi \quad (1)$$

Siendo:

S_K Potencia de cortocircuito máxima

U Tensión de servicio

I_K Intensidad de cortocircuito trifásico

$\cos\phi$ Factor de potencia (considerado como 0,8)

Por tanto, para el cálculo de las potencias de cortocircuito en los diferentes puntos de la subestación, partiremos del supuesto más desfavorable a considerar, la potencia de cortocircuito $S_K = 1.106,62$ MVA, (21,3 kA), que es de la misma magnitud que la del embarrado de entrada a la subestación. De esta forma quedará dimensionada la subestación por un cortocircuito, pues se desprecia el amortiguamiento producido por la acometida desde el punto de derivación de la Compañía Suministradora hasta la subestación eléctrica de tracción.

Los diferentes valores de la corriente de cortocircuito son:

a) Corriente de cortocircuito a la entrada de uno de los dos puentes del rectificador.

Cada grupo de tracción es de 3.300 kVA, por lo que para este caso tomamos como potencia base 1.650 kVA (1 secundario). Según características del transformador, la tensión de cortocircuito primario-secundario, primario-terciario es de 9,6%, [22]. Dado

que desconocemos los datos oficiales de la impedancia porcentual de la red de Compañía Suministradora, redondeamos al alza hacia el lado de la seguridad la impedancia del transformador a la red a un valor de 10%.

También conocemos que a la salida del transformador tenemos 1.300 V, que son los que llegan a la entrada de cada rectificador.

Conociendo la fórmula (2), calculamos:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (2)$$

$$P_{cc} = \frac{1.650}{10} \cdot 100 = 16,5 \text{ MVA}$$

$$I_{cc} = \frac{16,5}{\sqrt{3} \cdot 1,3} = 7,33 \text{ kA}$$

b) Corriente de cortocircuito en la barra omnibus.

Siendo la resistencia de Thevenin vista desde los bornes de salida de un rectificador de 3.000 kW de un valor aproximado de 0,4 Ω y siendo la tensión de vacío en bornes de salida de 3.676 V según las características técnicas del rectificador, [23], la intensidad de corto en bornes de salida del rectificador es:

$$I = \frac{3.676}{0,4} = 9.190 \text{ A}$$

En caso de considerar acoplamiento $I = 18.380 \text{ A}$

c) Corriente de cortocircuito a la salida del transformador de servicios auxiliares.

La impedancia de cortocircuito de este transformador es del 6% referido a 250 kVA.

Conocemos por características del transformador de servicios auxiliares que a su salida tenemos una tensión de 220V.

$$P_{cc} = \frac{250}{6} \cdot 100 = 4,17 \text{ MVA}$$

$$I_{cc} = \frac{4,17}{\sqrt{3} \cdot 0,22} = 10,93 \text{ kA}$$

1.2 CÁLCULO DE LOS DISYUNTORES Y DE LOS TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD PARA ENTRADAS DE LÍNEA Y DE GRUPOS TRANSFORMADORES

1.2.1 Intensidad a la entrada de la subestación

A la entrada de la subestación tenemos una tensión de suministro de 30 kV.

Consideramos las siguientes hipótesis de trabajo apoyándonos en la fórmula (1):

- a) Un solo grupo al 100% + trafo SSAA (permanente)

$$I = 68,32 \text{ A}$$

- b) Un solo grupo al 150% + trafo SSAA (2 horas máximo)

$$I = 100,07 \text{ A}$$

- c) Un solo grupo al 300% + trafo SSAA (5 minutos)

$$I = 195,34 \text{ A}$$

- d) Dos grupos al 100% + trafo SSAA (permanente)

$$I = 131,83 \text{ A}$$

- e) Dos grupos al 150% + trafo SSAA (2 horas máximo)

$$I = 195,34 \text{ A}$$

- f) Dos grupos al 300% + trafo SSAA al 150% (5 minutos máximo)

$$I = 388,27 \text{ A}$$

- g) Cortocircuito 0,5 segundos de 21,3 kA

1.2.2 Cálculo disyuntores

La intensidad nominal permanente máxima posible en la instalación viene dada por el caso en el que los dos grupos trabajen al 100% y el transformador de servicios auxiliares. Este caso es el especificado en el caso d). Por tanto:

$$I_{n_{\max}} = 132 \text{ A}$$

Considerando la potencia de cortocircuito trifásica a la entrada de la subestación de 1.106,62 MVA adoptamos un disyuntor automático en la entrada de línea con al menos un poder de cortocircuito de 21,3 kA; una corriente de cortocircuito de 40 kA y una corriente nominal de hasta 3.150 A, con lo que sería más que suficiente para nuestra instalación.

1.3 CÁLCULO DE LA ACOMETIDA DE AT A LA LLEGADA DE LÍNEA DESDE LAS CABINAS DE CIA

La alimentación a las cabinas de llegada de línea estará constituida por 1 cable unipolar de 240 mm² de aluminio tipo HEPR-18/30 kV que se dimensiona más adelante.

1.3.1 Cálculo de los transformadores de intensidad

1.3.1.1 Cálculo de los transformadores de intensidad de protección y media a la llegada de la línea

En condiciones normales de explotación pueden trabajar tanto uno como ambos grupos. En consecuencia para estas condiciones la intensidad máxima de entrada son para el caso b) de 100,07 A y para el caso e) de 195,34 A. Se considera el funcionamiento a un 150%, aunque no podría mantenerse más de dos horas continuadas.

Elegimos por tanto un transformador de intensidad con doble relación primaria de 200 A y 100 A y los secundarios de 5 A que sean necesarios en cada caso.

El caso excepcional g) podrá también asumirse dependiendo de la intensidad límite térmico del transformador de intensidad. La calcularemos a continuación según el Reglamento de Instalaciones de Alta Tensión, [18].

Para cualquier intensidad de trabajo (I) durante el tiempo de actuación (t) debe cumplirse la siguiente relación para toda intensidad térmica (I_{term}):

$$I^2 \cdot t = I_{term}^2 \quad \text{siendo } I (kA), t(s) \quad (3)$$

Calculamos la I_{term} para el transformador de medida.

Consideramos por tanto los siguientes casos más desfavorables:

f) $I = 388,27 \text{ A}$ (5 minutos)

g) $I = 21,3 \text{ kA}$ (0,5 segundos)

En consecuencia, aplicando la fórmula (3) para cada caso obtenemos:

f) $I_{term} = 6.725,03 \text{ A} = 67,25 \text{ In}$

g) $I_{term} = 15.061,37 \text{ A} = 150,61 \text{ In}$

Por tanto la intensidad térmica puede ser 200 In (valido también par los 30 kA de intensidad mínima de diseño) para los transformadores de intensidad de la cabina de llegada de línea, así se cumplirán las restricciones necesarias.

1.3.1.2 Cálculo de los transformadores de cabina de grupo

En condiciones normales la intensidad que circula es de 63,5 A, correspondiente a uno de los grupos. En consecuencia para estas condiciones la intensidad máxima de entrada al 150% de carga durante 2 horas es de 95,26 A.

Elegimos por tanto un transformador de intensidad una relación primaria de 100 A y los secundarios de 5 A que sean necesarios.

Para cualquier intensidad de trabajo (I) durante el tiempo de actuación (t) debe cumplirse la fórmula (3) ya citada. Calculamos I_{term} para los transformadores de cabina de grupo.

Consideramos por tanto los siguientes casos más desfavorables:

- c) $I = 190,53 \text{ A}$ (5 minutos)
- g) $I = 21,30 \text{ kA}$ (0,5 segundos)

En consecuencia para cada caso

- c) $I_{\text{term}} = 3.300,07 \text{ A} = 33,07 \text{ In}$
- d) $I_{\text{term}} = 15.061,3 \text{ A} = 150,61 \text{ In}$

Por lo tanto consideramos unos transformadores de intensidad con una I_{term} de 200 In (valido también par los 30 kA de intensidad mínima de diseño)

1.4 CALCULO DEL EMBARRADO GENERAL DE LAS CABINAS DE AT

Para el dimensionamiento del embarrado general de las cabinas de 36 kV se adoptara como potencia total instalada 2 transformadores de tracción de 3.300 kVA y un transformador de servicios auxiliares de 250 kVA.

En consecuencia el embarrado deberá soportar las siguientes intensidades:

- 131,83 A en régimen permanente.
- 195,33 A en 2 horas
- 385,86 A en 5 minutos
- 21.300 A en 0,5 segundos

El fabricante de las celdas deberá acreditar que sus embarrados soportan estas intensidades.

1.5 CÁLCULO DEL CABLE DE ALIMENTACIÓN A CADA TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Las intensidades de entrada a cada transformador son:

- a) Grupo a potencia nominal (permanente)

$$I = 63,5 \text{ A}$$

- b) Grupo al 150% (2 horas)

$$I = 95,26 \text{ A}$$

- c) Grupo al 300% (5 minutos)

$$I = 190,53 \text{ A}$$

- d) Cortocircuito (0,5 segundos)

$$I = 21,3 \text{ kA}$$

La alimentación al transformador estará constituida por 3 cables unipolares de 150 mm² de cobre tipo RHV-18/30 kV capaz de soportar permanentemente 360 A a 25 °C enterrado (teniendo en cuenta el factor de corrección por temperatura), 21,85 kA en 1 segundo y 30,34 kA en 0,5 segundos (según datos del fabricante), [25], valor superior a la corriente de defecto a tierra de compañía proporcionada.

Comprobamos ahora para los casos b) y c). Para intensidades mayores de la nominal la curva térmica de un cable viene definida por la siguiente función:

$$I_{max} = f\left(\frac{1}{\sqrt{t}}\right) \quad (\text{kA}) \quad (4)$$

Acorde al Reglamento de Instalaciones de Alta Tensión [18].

Concretamente para este cable se cumple:

$$I_{max} = 21,3\left(\frac{1}{\sqrt{t}}\right)$$

En consecuencia para los casos b) y c)

- b) $I_{max} = 0,25 \text{ kA} = 250 \text{ A} > 95,26 \text{ A}$. Válido.

- c) $I_{\max} = 1,23 \text{ kA} > 190,53 \text{ A}$. Válido.

1.6 CÁLCULO DE LA ACOMETIDA AL RECTIFICADOR DE POTENCIA

Para el dimensionamiento de este embarrado se consideran grupos de 3.000 kW. Para el cálculo se toma uno de los secundarios, teniendo así una potencia de 1.650 kVA, una tensión de salida de los transformadores de potencia de 1.300 V, [23], y seguimos teniendo presente que estamos trabajando con corriente alterna. Por lo tanto, y ayudándonos de la fórmula (1) deberá soportar las siguientes intensidades:

- a) Grupo a potencia nominal (permanente)

$$I = 733 \text{ A}$$

- b) Grupo al 150% (2 horas)

$$I = 1.100 \text{ A}$$

- c) Grupo al 300% (5 minutos)

$$I = 2.199 \text{ A}$$

- d) Cortocircuito (0,5 segundos)

$$I = 7,33 \text{ kA}$$

La alimentación al transformador estará constituida por 3 cables unipolares de 240 mm² de cobre tipo RHV-3,6/6 kV por fase capaz de soportar cada cable permanentemente 435 A a 25 °C enterrado y 34,32 kA en 1 segundo y 48,54 kA en 0,5 segundos (según datos del fabricante) [25], que es un valor superior al valor de defecto a tierra trifásico de 21,3 kA que proporciona la compañía.

Comprobamos ahora para los casos b) y c). Para intensidades mayores de la nominal la curva térmica de un cable viene definida por la fórmula 4.

Concretamente para este cable se cumple:

$$I_{\max} = 34,08 \left(\frac{1}{\sqrt{t}} \right)$$

En consecuencia para los casos b) y c) se tienen unas intensidades por cable:

- b) $I_{\max} = 0,401 \text{ kA}$

- c) $I_{\max} = 1,968 \text{ kA}$

Como la salida del transformador está constituida por tres cables de cobre por cada fase, se tiene:

- a) 1.305 A en régimen permanente
- b) 1.957 A en 2 horas.
- c) 3.915 A en 5 minutos
- d) 101 kA en 1 segundo

1.7 CÁLCULO BARRA OMNIBUS

Las barras ómnibus estarán constituidas cada una por dos pletinas de cobre de $100 \times 10 \text{ mm}^2$ y será un componente integrante de las celdas prefabricadas. Debido que se sitúan a continuación del grupo rectificador, y éste en su salida tiene una corriente de 910 A, la barra ómnibus deberá soportar las siguientes cargas:

- 1.820 A en régimen permanente.
- 2.730 A en 2 horas
- 5.460 A en 5 minutos
- 42.600 A (considerando una aportación del 50% de cada subestación colateral) en 3 segundos.

Conociendo las características físicas de la pletina, sus dimensiones podemos justificar su validez ante las solicitaciones térmicas y electrodinámicas.

1.7.1 Justificación de la validez de la pletina 100x10 ante solicitaciones térmicas

Mediante las siguientes tablas se justifica la capacidad térmica de la pletina 100x100.

DATOS DE PARTIDA PLETINA		
NATURALEZA CONDUCTOR	AL - CU - FE	CU
DIMENSION MAYOR	mm	100
DIMENSION MENOR	mm	10
NUMERO DE PLETINAS		2

Características Físicas Pletina	Unidades	Valor
SECCION TOTAL	mm ²	2000
COEFICIENTE CORTO		0,1418
CALOR ESPECIFICO (Ce)	Jul/(Kg °C)	383,1
COEFICIENTE TRANSMISION CALOR (a)	W/(m °C)	5,2
RESISTIVIDAD (20 °C)	microohm cm	1,76
DENSIDAD	Kg/m ³	8954
RESISTENCIA OHMICA (20 °C) (R)	Ohm/Km	0,0088
MASA (M)	Kg/m	17,9080
SUPERFICIE POR METRO (S)	m ²	0,44000
ALFA = a * S / R	W/(°C ohm)	260000
TAU =M * Ce / (a * S)	seg	2998,494

CAPACIDAD DE SOBRECARGA DE LA PLETINA 2x(100x10) A 90 °C					
INTENSIDAD (KA)	INTENSIDAD (A)	tiempo hasta que la pletina alcanza 90°C por sobrecarga siendo la temper. inicial del cable= temper. ambiente			
		temp.amb=40°	temp.amb=25°	temp.amb=15°	temp.amb=0°
(0) 3,606	3606	24883,351			
(1) 4,111	4111	4396,613	32597,836		
(2) 4,416	4416	3293,858	6040,620	29456,415	
(3) 4,838	4838	2430,570	3838,794	5368,584	24675,020
5	5000	2200,802	3379,338	4540,103	8242,477
10	10000	417,577	555,098	650,412	799,318
15	15000	178,453	234,127	271,827	329,279
20	20000	99,070	129,440	149,860	180,752
25	25000	63,026	82,196	95,044	114,419
30	30000	43,627	56,840	65,682	78,992
35	35000	31,991	41,655	48,115	57,831
40	40000	24,462	31,840	36,769	44,177
45	45000	19,312	25,129	29,014	34,851

Tabla 1 – Justificación pletina 100x10

- (0) INTENS. MAX. PERMANENTE PARA LA CUAL ESTA PLETINA NO SUPERA LOS 90 °C A UNA TEMP. AMBIENTE DE 40°C
 (1) INTENS. MAX. PERMANENTE PARA LA CUAL ESTA PLETINA NO SUPERA LOS 90 °C A UNA TEMP. AMBIENTE DE 25°C
 (2) INTENS. MAX. PERMANENTE PARA LA CUAL ESTA PLETINA NO SUPERA LOS 90 °C A UNA TEMP. AMBIENTE DE 15°C
 (3) INTENS. MAX. PERMANENTE PARA LA CUAL ESTA PLETINA NO SUPERA LOS 90 °C A UNA TEMP. AMBIENTE DE 0°C

Según estos ensayos se muestran las intensidades para los diferentes tiempos a los que la pletina llega a la temperatura de 90°C. Con ello podemos saber cómo se comporta en los tiempos que nos interesa y ver que intensidad alcanza y si es permisible con los datos que tenemos. Se observa que este embarrado soporta las solicitudes térmicas exigidas pues de las tablas y gráficos anteriores se deduce que admite:

- 3.606 A en régimen permanente a una temperatura ambiente de 40 °C.
- 3.780 A en 2 horas a una temperatura ambiente de 40 °C
- 11.500 A en 5 minutos a una temperatura ambiente de 40 °C
- más de 42.600 A en 3 segundos a una temperatura ambiente de 40 °C

1.7.2 Justificación de la validez de la pletina 100*10 ante solicitaciones electrodinámicas

Como indicado anteriormente, las barras ómnibus estarán constituidas por dos pletinas de cobre de 100x10 mm, separadas 2 cm entre ejes. En consecuencia cualquier intensidad se repartirá equitativamente entre ambas pletinas siendo la intensidad de cortocircuito la que producirá el efecto electrodinámico más alto.

Dicho esfuerzo vendrá definido por:

$$F = 2,04 \cdot \frac{I^2}{d} \quad (\text{kg/m}) \quad (5)$$

en la que:

I = valor de la intensidad de cortocircuito (kA)

d = distancia entre ejes de gravedad de las pletinas (cm)

El cálculo exacto de la intensidad es bastante laborioso pues debe tenerse en cuenta las aportaciones al cortocircuito de las subestaciones colaterales. El cálculo de estas aportaciones vamos a realizarlo ateniéndonos a las siguientes simplificaciones:

1. En cuanto al esquema de conexión se considera el caso más desfavorable que consiste en suponer que las subestaciones colaterales están acopladas a la subestación. Se considerará una aportación de cada colateral del 50%.
2. Todas las subestaciones suministran la misma potencia de cortocircuito pues las subestaciones de 2x3.300 kVA las consideramos con ambos grupos acoplados.
3. Siendo la intensidad de cortocircuito de la barra omnibus de 42.600 A en caso de acoplamiento y considerando el efecto de las subestaciones colaterales, la máxima intensidad a la que se verá sometida cada una de las dos pletinas de la barra omnibus será de 18.380 A.

En consecuencia:

$$F = 2,04 \cdot \frac{18,38^2}{2} = 344,6 \text{ kg/m}$$

Dado que la barra ómnibus está sujeta, como máximo, cada 0,8 m a aisladores rígidos, se considera a efectos electrodinámicos la barra ómnibus constituida por dos pletinas de 100x10 mm de 0,8 m empotradas en ambos extremos.

Por tanto el momento flector máximo se encontraría en los extremos al considerarla como una barra empotrada-apoyada y sería de un valor de:

$$M = \frac{F \cdot l(cm) \cdot l(cm)}{12} = \frac{3,446 \cdot 80 \cdot 80}{12} = 1.837,87 \text{ kg} \cdot \text{cm} \quad (6)$$

y como para una pletina de 100x10 mm el módulo resistente es de $W = 1,666 \text{ cm}^3$ la sigma de trabajo sería:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1.837,87}{1,666} = 1.103,16 \text{ kg/cm}^2 \quad (7)$$

Valor superior a los 1.100 kg/cm^2 máximos que puede soportar el cobre.

En consecuencia se intercala en dicho vano un cuadrado de pletina 100x10 mm entre ambas pletinas de la barra ómnibus a fin de dividir la longitud de flexión en dos. De esta forma la longitud queda reducida a la mitad, quedando los resultados:

$$M = \frac{3,446 \cdot 40 \cdot 40}{12} = 459,47 \text{ kg/cm}$$

$$\sigma = \frac{459,47}{1,666} = 275,79 \text{ kg/cm}^2$$

Ahora sí cumplen las limitaciones y es válida la solución.

1.8 CALCULO DEL CONDUCTOR POSITIVO Y NEGATIVO DE SALIDA DEL RECTIFICADOR

Para el cálculo de estos conductores se considerara grupos de 3000 kW.

Ambas salidas se realizaran a través de cable de cobre aislado de 3(1x300) mm² (con aislamiento 0,6/1 kV para el negativo y 6/10 kV para el positivo). Deberán soportar las siguientes cargas:

- 910 A en régimen permanente.
- 1.365 A en 2 horas
- 2.730 A en 5 minutos
- 9.190 A en 1 segundo

A continuación se justifica la validez de este cable. Dado que desde el punto de vista térmico el negativo es más desfavorable solamente se realizará el cálculo para esta salida haciéndolo extensivo también para el positivo. La justificación se realizará sobre un solo conductor de 300 mm² multiplicando el resultado por tres.

1.8.1 Justificación del cable aislado 3(1x300) mm² ante solicitaciones térmicas

DATOS DE PARTIDA CABLE		
NATURALEZA CONDUCTOR	AL - CU - FE	CU
SECCION	mm ²	300
AI SLAMIENTO	kV	RHV 0,6/1 kV
INSTALACION		ENTUBADA

FICHA TECNICA CABLE		
Características Físicas Cable	Unidades	Valor
DIAMETRO CABLE	mm	19,54
COEFICIENTE CORTO		0,142
CALOR ESPECIFICO (Ce)	Jul/(Kg °C)	383,1
COEFICIENTE TRANSMISION CALOR (a)	W/(m °C)	5,6
RESISTIVIDAD (20 °C)	microohm cm	1,76
DENSIDAD	Kg/m ³	8954
RESISTENCIA OHMICA (20 °C) (R)	Ohm/Km	0,0587
MASA CONDUCTOR(M)	Kg/m	2,6862
SUPERFICIE POR METRO (S)	m ²	0,06140
ALFA = a * S / R	W/(°C ohm)	5861
TAU =M * Ce / (a * S)	seg	2992,932

CAPACIDAD DE SOBRECARGA DEL CABLE CU RHV 0,6/1 kV 300 mm ² A 90°C					
INTENSIDAD (KA)	INTENSIDAD (A)	tiempo hasta que el cable alcanza 90°C por sobrecarga siendo la temper. inicial del cable= temper. ambiente (segundos)			
		temp.amb =40°	temp.amb =25°	temp.amb =15°	temp.amb =0°
(0) ,542	542	17989,517			
(1) ,618	618	4363,484	17892,918		
(2) ,663	663	3288,022	6030,306	35002,281	
(3) ,727	727	2419,632	3818,320	5333,015	18618,252
3	3000	99,073	129,446	149,867	180,762
4	4000	55,324	72,123	83,375	100,332
5	5000	35,290	45,958	53,092	63,824
6	6000	24,462	31,840	36,769	44,177
7	7000	17,953	23,360	26,970	32,393
8	8000	13,736	17,869	20,627	24,770
9	9000	10,848	14,109	16,286	19,554
10	10000	8,783	11,424	13,185	15,829
11	11000	7,257	9,438	10,892	13,076

Tabla 2 – Justificación cable aislado 3(1x300)mm²

- (0) INTENS. MAX. PERMANENTE PARA LA CUAL ESTE CABLE NO SUPERA LOS 90 °C A UNA TEMP. AMB.DE 40°C
 (1) INTENS. MAX. PERMANENTE PARA LA CUAL ESTE CABLE NO SUPERA LOS 90 °C A UNA TEMP. AMB.DE 25°C
 (2) INTENS. MAX. PERMANENTE PARA LA CUAL ESTE CABLE NO SUPERA LOS 90 °C A UNA TEMP. AMB.DE 15°C
 (3) INTENS. MAX. PERMANENTE PARA LA CUAL ESTE CABLE NO SUPERA LOS 90 °C A UNA TEMP. AMB.DE 0°C

De la misma manera que la anterior justificación de la pletina 10x100, obtenemos los valores de la intensidad que se alcanza al llegar a la temperatura límite de 90°C para diferentes tiempos. Observamos por tanto que este conductor soporta las intensidades demandadas pues de las tablas y gráficos anteriores se deduce que admite:

- 1.626 A en régimen permanente a una temperatura ambiente de 40 °C.
- 1.695 A en 2 horas a una temperatura ambiente de 40 °C
- 5.000 A en 5 minutos a una temperatura ambiente de 40 °C
- más de 27.000 A en 1 segundos a una temperatura ambiente de 40 °C



1.9 CÁLCULO DE LA ACOMETIDA Y PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES

Siendo el transformador de Servicios Auxiliares de 250 kVA a 30 kV la intensidad nominal primaria es de 4,8 A.

La acometida se realizará, en el lado de AT, con una terna de cables unipolares de 150 mm² de cobre tipo RHV-18/30 kV. La validez de este cable ha sido justificada en el cálculo del cable de alimentación a cada transformador de potencia. La salida en BT desde el transformador hasta el cuadro de distribución y protección de BT y servicios auxiliares, estará constituida por cable de cobre aislado RHV 0,6/1 kV de $3 \times [2 \times (1 \times 240)] \text{ mm}^2 + 2 \times (1 \times 240) \text{ mm}^2$ de sección, que soporta a 40°C una intensidad de 673 A enterrado (I_n secundaria del transformador de Servicios Auxiliares 656 A), y una intensidad de cortocircuito de 33,8 kA en 1 s (según datos del fabricante), [25].

Para la protección general de servicios auxiliares se dispondrá un interruptor automático tetrapolar de las siguientes características:

- Tensión nominal..... 220 V
- Intensidad nominal..... 400 A
- Poder de corte 220 V..... 80 kA
- Térmico regulable 80/400 A



1.10 CÁLCULO DE LA ACOMETIDA AL TRANSFORMADOR DE SEÑALIZACIÓN

El transformador de señalización tiene las siguientes características:

- Tipo Trimonofásico
- Potencia 100 kVA
- Tensión $3 \times 220 \text{ V} / 2 \times (2.200-3.000) \pm 5\%$
- Ucc% 4
- Refrigeración AN

En el primario del transformador a 220 V la intensidad es de 262-525 A, por tanto la acometida desde el armario de distribución y protección de B.T. al primario del transformador de 100 kVA, se realizará con una terna de cables RV-0,6/1 kV de 240 mm^2 en cobre que soporta a 40°C una intensidad de 540 A ($I_k=29,76 \text{ kA}$ en 1 segundo), [25].

2. CÁLCULO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

2.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Como metodología de cálculo se va considerar la GUIA PARA LA SEGURIDAD EN LA PUESTA A TIERRA DE SUBESTACIONES, IEEE Std. 80-176, [27], y el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, fundamentalmente su Instrucción Técnica Complementaria MIE-RAT 13, [28].

La configuración del sistema de puesta a tierra estará compuesta de la siguiente malla:

- Malla enterrada a base de carril de ferrocarril con picas de acero recubiertas de cobre de 2,5 m de longitud, que constituyen una red mallada simétrica de una superficie 25,67 x 17,87 m, formada por cinco carriles longitudinales de 25,67 m y nueve carriles transversales de 17,87 m. La malla sobresaldrá un metro sobre la planta de la subestación en el plano horizontal, excepto por su parte colindante con el andén.

Resistividad de la capa superficial del terreno de $\rho_s=3000 \Omega \cdot m$.

- Profundidad de malla 2 m respecto de la superficie natural del terreno de la subestación.

Datos eléctricos de partida considerados:

- La intensidad de defecto a disipar por la red de tierras según datos proporcionado por la compañía eléctrica tiene un valor de 6.500 A
- Tiempo de operación de la unidad de protección de tierra de la compañía eléctrica 0,5 s.

2.2 RESISTIVIDAD DEL TERRENO A PROFUNDIDAD DE MALLA

2.2.1 Consideraciones previas

Para el proyecto de una instalación de puesta a tierra, se precisa comenzar por el estudio de la resistividad del terreno donde vaya a ser instalada. Por ello es preciso conocer la resistividad del terreno, según profundidad, para poder elegir la disposición de los conductores en el terreno y prever las características eléctricas de la red de tierra.

Para ello se realiza un estudio geotécnico del terreno donde se ubicará la subestación. Como resultado de este estudio se genera un informe y plano donde se especifica la resistividad en función de la profundidad y su ubicación, que proporciona información útil para diseñar la malla de red de tierras.

Teniendo en cuenta los estudios geotécnicos y geoelectrónicos realizados, la malla de la red de tierras se establecerá a una profundidad de 2 m con respecto a la cota de la plataforma de la Subestación Eléctrica.

Del perfil eléctrico del terreno que obtenemos del Estudio Geotécnico y Geoelectrónico de la zona donde se va a implantar la subestación, obtenemos la resistividad media del terreno para una profundidad de 2 metros como se muestra a continuación. Recogemos los diferentes valores de resistividad y su valor proporcional en la zona de estudio, quedando un valor promedio de:

$$\text{Resistividad Media} = \frac{80 \cdot 11,5\% + 70 \cdot 9,3\% + 60 \cdot 41,4\% + 50 \cdot 35,8\% + 40 \cdot 2\%}{100\%} = 59,25 \, \Omega \cdot m$$

La resistividad media adoptada para el cálculo tiene un valor de 60 $\Omega \cdot m$.

Debido a la baja resistividad de la capa donde se sitúa la malla, pueden producirse fenómenos de corrosividad, por lo que se considera necesario emplear medidas de protección catódica por medio de ánodos de sacrificio de Zinc que impidan o minimicen éstos efectos. Por lo que se proyecta la instalación de 4 ánodos de sacrificio de Zinc uniformemente distribuidos por la planta de la subestación para poder mitigar los efectos que pueda producir la baja resistividad sobre la red de tierras.

2.3 CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO

2.3.1 Valores máximos reglamentarios

La tensión de paso máxima permisible dentro y fuera de una instalación eléctrica considerando una longitud de paso de 1 metro, viene definida por la expresión:

$$V_p = \frac{10K}{t^n} \left(1 + \frac{6\rho_s}{1000} \right) \quad (v/m) \quad (8)$$

y la tensión de contacto máxima permisible dentro y fuera de una instalación eléctrica, considerando una distancia horizontal entre el punto de contacto y ambos pies de 1 metro, viene definida por la expresión:

$$V_c = \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{1,5\rho_s}{1000} \right) \quad (v) \quad (9)$$

Ambas expresiones son función de la resistividad superficial del terreno (ρ_s) y del tiempo (t) de duración de falta según el cual le corresponden unos valores determinados de las constantes K y n definidas en [28].

En subestaciones la zona en la que se produce los valores más altos de tensión de paso y contacto corresponde en la parte de alterna tracción AT pues es donde pueden aparecer las mayores disipaciones de intensidades al terreno.

Las intensidades de falta que puedan producirse en la zona de continua de la subestación poseen valores muy altos pero no se difunden prácticamente al terreno, sino viajan mayoritariamente por la red de tierras y masas en busca de los negativos de los rectificadores.

Una falta producida en catenaria provoca que parte de la intensidad de avería regrese por tierra en busca de los negativos de los rectificadores. En consecuencia esto produce una elevación del potencial de la red de tierras y masas de la subestación con respecto al terreno. Cuantificar este potencial es muy complicado debido a la dificultad de discriminar que porcentaje de intensidad regresa por la red de tierras de la subestación en condiciones de falta en catenaria.

A continuación se indican los valores máximo admisibles de las tensiones de paso y contacto teniendo en cuenta la resistividad superficial de 3.000 Ω m, una corriente de 6.500 A y un tiempo de operación de la unidad de protección de 1 s.

Tensión de paso:

$$V_p = \frac{10 \cdot 72}{0,5} \left(1 + \frac{6 \cdot 3000}{1000} \right) = 27.360 \text{ V}$$

Tensión de contacto:

$$V_c = \frac{72}{0,5} \left(1 + \frac{1,5 \cdot 3000}{1000} \right) = 792 \text{ V}$$

En consecuencia los valores de tensión de paso y contacto en cada punto dentro y fuera de la instalación deberán ser menores o iguales que los establecidos en los resultados anteriores.

2.4 VALORES TOTALES DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO EN CADA PUNTO DE UNA SUBESTACIÓN

El potencial en cualquier punto del terreno es igual a la suma geométrica de los potenciales debidos a cada electrodo simple. La intensidad de cada electrodo simple, es la que le



corresponde según el reparto entre ellos de la intensidad de defecto. Los electrodos más alejados del punto en cuestión tienen menor influencia sobre el potencial total.

Una situación simétrica de los electrodos simples ocasiona un reparto equitativo de la corriente de defecto. En cambio en las disposiciones asimétricas los electrodos periféricos disipan más intensidad que los centrales, siempre que la separación entre ellos sea menor que sus dimensiones lineales y que su cantidad sea grande.

Así pues para el cálculo de las tensiones de paso y contacto en un punto situado por ejemplo a 1 metro de la fachada exterior de la subestación y fuera del recinto se tendrán en cuenta las aportaciones de cada electrodo integrante, aunque lógicamente será el cinturón perimetral con picas, el electrodo que provoque un valor más elevado de las tensiones de paso y contacto en este punto.

2.5 MALLA DE RED DE TIERRAS

2.5.1 Cálculo de validez de la malla por tensión de paso y contacto

Los cálculos de las tensiones de paso y contacto máximas previsibles se realizan por medio de las tablas que se indican a continuación. Un ejemplo de cálculo es el que se indica a continuación:

ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

ρ resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$)	60
L' longitud total de conductor enterrado incluyendo picas (m)	336
S área de la malla de tierras (m^2)	494
RESISTENCIA MAXIMA ESTIMADA DE PUESTA A TIERRA (Ω)	1,4

Up Tensión de paso admisible entre el exterior y el interior según MIE RAT 13 en V	27.360
Up Tensión de paso admisible entre el exterior y el interior para una persona de 70 Kg. según IEEE en V	3.156
Up MÁXIMA TENSIÓN DE PASO ADMISIBLE EN EL PASO ENTRE EL EXTERIOR E INTERIOR DE LA SUBESTACIÓN (V)	3156

Uc Tensión de contacto admisible a considerar en el exterior según MIE RAT 13 en V	792
Uc Tensión de contacto admisible a considerar en el exterior para una persona de 70 Kg. según IEEE en V	964
Uc MÁXIMA TENSIÓN DE CONTACTO A CONSIDERAR EN EXTERIOR DE LA SUBESTACIÓN (V)	792

Uc Tensión de contacto admisible a considerar en el interior según MIE RAT 13 en V	792
Uc Tensión de contacto admisible a considerar en el interior para una persona de 70 Kg. según IEEE en V	964
Uc MÁXIMA TENSIÓN DE CONTACTO ADMISIBLE A CONSIDERAR EN INTERIOR DE LA SUBESTACIÓN (V)	792

CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE CONTACTO Y DE PASO

D espaciado retícula (m)	3,50
h profundidad malla (m)	2,0
L_p longitud del perímetro de la malla (m)	91
L_c longitud de la malla sin picas (m)	286
¿Hay picas en el perímetro y esquinas? (S/N)	S
L_R longitud de todas las picas (m)	50
n_a	6,286
n_b	1,012
n	6,359
K_{ij}	1,000
K_h	1,732
diámetro conductor enterrado d (m)	0,085
K_m factor geométrico para tensiones de contacto	0,353
K_i factor de irregularidad de la malla	1,585
L_M longitud electrodo enterrado para el cálculo tensión contacto, incluye picas. (m)	336
E_c TENSIÓN DE CONTACTO MÁS DESFAVORABLE SOBRE LA MALLA (V)	742
L_s longitud electrodo enterrado para el cálculo tensión paso (m)	257
K_s factor geométrico para tensiones de paso	0,224
E_p TENSIÓN DE PASO MÁS DESFAVORABLE EN LAS ESQUINAS DE LA MALLA (V)	616

VALIDACIÓN DE LA MALLA POR TENSIÓN DE CONTACTO

MAXIMA TENSIÓN DE CONTACTO ADMISIBLE (V)	792
TENSIÓN DE CONTACTO (V)	742

Tabla 3 – Validación de la malla por tensión de contacto

VALIDACIÓN DE LA MALLA POR TENSIÓN DE PASO

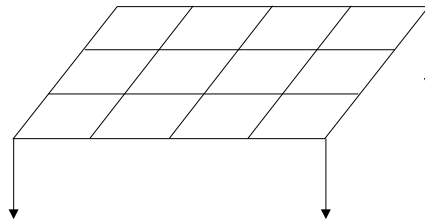
MAXIMA TENSIÓN DE PASO ADMISIBLE (V)	3.156
TENSIÓN DE PASO (V)	616

Tabla 4 – Validación de la malla por tensión de paso

Observamos por tanto que esta configuración de puesta a tierra es perfectamente válida, comparando con los valores determinados en el apartado 2.3.1 y las restricciones que marca la normativa MIE RAT 13 y la IEEE para redes de tierra.

2.5.2 Justificación del cálculo de resistencia de puesta a tierra del conjunto malla-picas-conexiones a equipos

En este caso se emplea la formulación siguiente para estimar el valor de la resistencia de puesta a tierra por parte de la malla y las picas existentes, en las que influye la resistividad del terreno, la geometría de la malla y las características físicas de la malla enterrada.



En función de los parámetros, se calcula la resistencia (R):

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L'} \quad (10)$$

donde:

ρ = resistividad terreno ($\Omega \cdot m$).

L' = suma de longitudes de los conductores de la malla más la de las picas.

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (11)$$

siendo S = superficie malla (m^2)

A continuación se adjunta la tabla de cálculo utilizada para la estimación de la resistencia de puesta a tierra donde se aplica la formulación indicada:

ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	
ρ resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$)	60
L' longitud total de conductor enterrado incluyendo picas (m)	336
S área de la malla de tierras (m^2)	494
RESISTENCIA MAXIMA ESTIMADA DE PUESTA A TIERRA (Ω)	1,4

Tabla 5 – Estimación de la resistencia de puesta a tierra

2.6 INTENSIDADES ADMISIBLES POR LOS ELECTRODOS DE LA RED DE TIERRAS

2.6.1 Cable enterrado

La intensidad máxima admisible de un cable enterrado en condición de defecto de corta duración viene regulada por la siguiente expresión:

$$I_{cc} = k \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} \quad (\text{kA}) \quad (12)$$

donde :

t = tiempo duración del cortocircuito

k = constante que depende de la sección y naturaleza del conductor. Se determina para que en caso de un corto de 1 segundo la temperatura final no supere los 200 °C o dicho de otra forma no se supere una densidad de corriente de 160 A/mm² en el cobre y 60 A/mm² en el hierro.

A continuación se establece una tabla de valores de K .

Coefficiente k de los cables

CABLE	K
Cable cobre desnudo 50 mm ²	8
Cable cobre desnudo 150 mm ²	24
Cable cobre desnudo 240 mm ²	38,4
Cable cobre desnudo 300 mm ²	48

Tabla 6 – Coeficiente K para cables según el MIE-RAT-13.

Se comprueba el valor de la densidad de corriente para cobre desnudo de 150 mm², para el valor de corriente de 6.500 A, ya que debe ser menor a 160 A/ mm² según el ITC MIE-RAT 13.

$$\delta_c = \frac{I_{cc}}{A} = \frac{6.500}{150 \text{ mm}^2} = 43,33 \text{ A/mm}^2 < 160 \text{ A/mm}^2 \quad (13)$$



Por otro lado se comprueba el valor de la densidad de corriente para el carril de acero de 45 kg/m (5.705 mm²), para el valor de corriente de 6.500 A, ya que debe ser menor a 60 A/ mm² según el ITC MIE-RAT 13.

$$\delta_c = \frac{I_{cc}}{A} = \frac{6.500}{5.705 \text{ mm}^2} = 1,4 \text{ A/mm}^2 < 60 \text{ A/mm}^2$$

3. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA VENTILACIÓN

La subestación eléctrica objeto de este proyecto se divide en las siguientes zonas o dependencias para ventilar o climatizar para su correcto funcionamiento:

- Sala General
- Recintos de rectificadores.
- Recinto de los transformadores de potencia.
- Sala de señales y comunicaciones.
- Sala de vídeo.
- PLO.
- Aseo.

3.1 NORMATIVA APLICABLE

Para la realización de este proyecto han regido los criterios indicados en los Reglamentos Oficiales y en particular los siguientes:

- R.I.T.E., Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE. RD 1027/2007 de 20 de Julio de 2007, [29].
- Norma UNE-EN 13779 Ventilación de edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de los locales para uso no doméstico, [30].
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. (Decreto 842/2.002 del 2 de agosto e Instrucciones Complementarias), [31].

3.2 INSTALACIÓN DE VENTILACIÓN

La instalación de ventilación estará compuesta por rejillas y extractores en las diferentes salas en función a la potencia térmica acumulada en cada una de ella. De tal manera, para el diseño de las rejillas y las especificaciones de los extractores será necesario calcular la potencia térmica acumulada de los equipos a instalar en cada sala.

Una vez conocida la potencia térmica total en una sala, se determinará el caudal de ventilación mínimo y las dimensiones mínimas de las rejillas según la siguiente formulación:

Caudal de ventilación mínimo:

$$Q = \frac{P}{\rho \cdot C_p \cdot \Delta T} \quad (14)$$

Siendo:

P es la potencia calorífica a disipar en la sala.

ρ es la densidad del aire, 1,15 kg/m³

C_p es el calor específica del aire, 1.006 J/(kg·°C)

ΔT es el salto térmico, 40°C - 30°C = 9 °C

Hallamos el caudal de ventilación mínimo en m³/s y lo convertimos a l/s para poder operarlo en el cálculo de la sección útil mínima de las rejillas de ventilación como se indica a continuación.

La sección útil mínima de las rejillas de ventilación se calcula con la siguiente fórmula:

$$S(cm^2) = 4 \cdot Q \text{ (l/s)} \quad (15)$$

3.2.1 Sala General

La sala general se ventila para poder disipar la potencia térmica acumulada en la sala. Se calcula la potencia calorífica a disipar dependiendo de los equipos instalados:

- Cabinas de salida de feeder: 6 uds x 3.000 W/ud = 18.000 W
- Cabina de c.c. seccionador: 2 uds x 1.500 W/ud = 3.000 W
- Cabina de 36 kV de Vca.: 7 uds x 600 W/Ud= 4200 W
- Armario de control: 10 uds x 50 W/ud = 500 W
- Equipo cargador de batería: 1ud x 500 W/ud = 500 W

La potencia total a disipar es de 26.200 W.

El caudal mínimo de ventilación en la sala general es de 2,51 m³/s o 2.516,3 l/s.

La sección útil mínima de las rejillas de ventilación se calcula con la siguiente fórmula:

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = 4 \times Q \text{ (l/s)} = 4 \times 2.516,3 \text{ l/s} = 10.065,24 \text{ cm}^2 = 1,01 \text{ m}^2$$

Se disponen cuatro rejillas sobre puertas de entrada de la sala general de 800x700 mm. La superficie útil total es de 2,24 m² para las cuatro rejillas. Por tanto la suma total de las rejillas en superficie, es mayor que los 1,01 m² mínimos necesarios.

Adicionalmente, se instalarán cuatro ventiladores de 11.000 m³/h de caudal. El ventilador será helicoidal con protección IP-65. Se ha escogido un modelo con 0,46 kW de potencia.

3.2.2 Salas de los rectificadores

Los recintos de rectificadores se ventilan para poder disipar la potencia térmica acumulada en cada recinto. Se calcula la potencia calorífica a disipar dependiendo de los equipos instalados:

- Filtros: 1 ud x 2.000 W/ud = 2.000 W
- Rectificador: 1 ud x 5.000 W/ud = 30.000 W
- Bobina: 1 ud x 6.000 W/ud = 6.000 W

La potencia total a disipar es de 38.000 W en cada recinto de rectificador.

El caudal mínimo de ventilación en las salas de los rectificadores es de 3,65 m³/s o 3.469,6 l/s.

La sección útil mínima de las rejillas de ventilación se calcula con la siguiente fórmula:

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = 4 \times Q \text{ (l/s)} = 4 \times 3.469,6 \text{ l/s} = 14.598,39 \text{ cm}^2 = 1,46 \text{ m}^2$$

Se dispone una rejilla en la pared de cada sala de rectificador de 1200 x 1400 mm. La superficie útil total es de 1,68 m² por rejilla. Por tanto la suma total de las rejillas en superficie, es mayor que los 1,46 m² mínimos necesarios.

Adicionalmente se instalarán dos ventiladores de 11.000 m³/h de caudal. El ventilador será helicoidal con protección IP-65. Se ha escogido un modelo con 0,46 kW de potencia.

3.2.3 Recintos de los transformadores de potencia

Los recintos de los transformadores se ventilan para poder disipar la potencia térmica acumulada en cada recinto. Se calcula la potencia calorífica a disipar dependiendo de los equipos instalados:

- Transformador de potencia: 1 ud x 25.740 W/ud = 25.740 W

La potencia total a disipar es de 25.740 W en cada recinto de transformador.

El caudal mínimo de ventilación en la sala de celdas es de 2,47 m³/s o 2.472,12 l/s.

La sección útil mínima de las rejillas de ventilación se calcula con la siguiente fórmula:

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = 4 \times Q \text{ (l/s)} = 4 \times 2.472,12 \text{ l/s} = 9.888 \text{ cm}^2 = 0,99 \text{ m}^2$$

Se dispone dos rejillas en la puerta de acceso exterior de 900 x 1000 mm. La superficie útil total es de 1,8 m² mayor que los 0,99 m² mínimos necesarios para cada recinto de transformadores de potencia.

Adicionalmente, se instalará un ventilador de 11.000 m³/h de caudal. El ventilador será helicoidal con protección IP-65. Se ha escogido un modelo con 0,46 kW de potencia.

3.2.4 Sala del transformador de Servicios Auxiliares

El recinto del transformador de SSAA se ventila para poder disipar la potencia térmica acumulada. Se calcula la potencia calorífica a disipar dependiendo de los equipos instalados:

- Transformador de SSAA de 250 kVA: 1 ud x 25.550 W/ud = 25.550 W

La potencia total a disipar es de 25.550 W.

El caudal mínimo de ventilación en la sala de celdas es de 2,45 m³/s o 2.453,87 l/s.

La sección útil mínima de las rejillas de ventilación se calcula con la siguiente fórmula:

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = 4 \times Q \text{ (l/s)} = 4 \times 2.453,87 \text{ l/s} = 9.815,5 \text{ cm}^2 = 0,98 \text{ m}^2$$

Se dispone una rejilla en la pared de 800 x 800 mm. La superficie útil total es de 0,64 m², mayor que los 0,98 m² mínimos necesarios para una correcta ventilación.

Adicionalmente, se instalará un ventilador de 11.000 m³/h de caudal. El ventilador será helicoidal con protección IP-65. Se ha escogido un modelo con 0,46 kW de potencia.

3.2.5 Sala de señales y comunicaciones

La sala de señales se ventila para poder disipar la potencia térmica. Se calcula la potencia calorífica a disipar dependiendo de los equipos instalados:

- Cabina de salida de línea monofásica de señales: 2 uds x 1.000 W/ud = 2.000 W

- Cabina *by-pass* telemando: 1 ud x 1.200 W/ud = 1.200 W
- Cabina llegada BT y transformación para línea de señales: 1 ud x 1.500 W/ud = 1.500 W
- Equipo cargador batería 40 Ah.: 1 ud x 40 W/ud = 40 W
- Armario de comunicaciones: 1 ud x 5 W/ud = 5 W
- Repartidor de fibra: 1 ud x 800 W/ud = 800 W
- Equipo de Fibra: 1 ud x 1.400 W/ud = 1.400 W
- Equipo de cuadros: 1 ud x 1.200 W/ud = 1.200 W

La potencia total a disipar es de 8.145 W.

El caudal mínimo de ventilación en la sala de celdas es de 0,78 m³/s o 782,27 l/s.

La sección útil mínima de las rejillas de ventilación se calcula con la siguiente fórmula:

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = 4 \times Q \text{ (l/s)} = 4 \times 782,27 \text{ l/s} = 3.129,08 \text{ cm}^2 = 0,31 \text{ m}^2$$

Se dispone una rejilla en la puerta de 500 x 700 mm. La superficie útil total es de 0,35 m², mayor que los 0,31 m² mínimos necesarios.

Se instalará un ventilador de 3.400 m³/h. El ventilador será helicoidal con protección IP-65. Se ha escogido un modelo con 0,11 kW de potencia.

3.2.6 Sala de vídeo

La sala de vídeo se ventilará para poder disipar la potencia térmica acumulada en el recinto. Se calcula la potencia calorífica a disipar aportada por los equipos instalados.

- La potencia estimada total de los equipos de vídeo a disipar es de 1200 W

El caudal mínimo de ventilación en la sala de celdas es de 0,12 m³/s o 115,25 l/s.

La sección útil mínima de las rejillas de ventilación se calcula con la siguiente fórmula:

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = 4 \times Q \text{ (l/s)} = 4 \times 115,25 \text{ l/s} = 461 \text{ cm}^2 = 0,05 \text{ m}^2$$

Se dispone una rejilla en la puerta de 500 x 700 mm. La superficie útil total es de 0,35 m², mayor que los 0,05 m² mínimos necesarios para la ventilación de la sala de vídeo.

3.2.7 Sala PLO

Se ventilará la sala de PLO para disipar la potencia térmica acumulada. Se calcula la potencia calorífica acumulada del equipo instalado.

- PLO: 1 ud x 50 W/ud= 50 W

La potencia total a disipar es 50 W

El caudal mínimo de ventilación en la sala PLO es de 4,80 l/s.

La sección útil mínima de las rejillas de ventilación se calcula con la siguiente fórmula:

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = 4 \times Q \text{ (l/s)} = 4 \times 4,80 \text{ l/s} = 19,2 \text{ cm}^2 = 0,0019 \text{ m}^2$$

Se disponen una rejilla sobre la puerta de 500 x 700 mm. La superficie útil total es de 0,35 m² mayor que los 0,0019 m² necesarios para la ventilación de esta sala.

3.2.8 Aseo

Para la ventilación del aseo se proyecta un sistema de extracción forzada mediante extractor en línea para conducto ubicado en el falso techo del aseo.

Estos ventiladores toman el aire mediante bocas de ventilación situadas en el falso techo sobre cada inodoro y lo evacúan al exterior del edificio mediante conductos de chapa galvanizada. El aire proviene de filtraciones de las zonas próximas.

El caudal de aire necesario para ventilar los aseos se obtiene de considerar 25 l/s por inodoro.

La sección útil mínima de las rejillas de ventilación se calcula con la siguiente fórmula:

$$S \text{ (cm}^2\text{)} = 4 \times Q \text{ (l/s)} = 4 \times 25 \text{ l/s} = 100 \text{ cm}^2 = 0,01 \text{ m}^2$$

Se dispone una rejilla sobre la puerta de 425 x 325 mm. La superficie útil total es de 0,14 m², mayor que los 0,01 m² necesarios para una correcta ventilación.

Mediante este sistema se consigue mantener el aseo en depresión respecto a las estancias colindantes, con lo que se garantiza que los flujos de aire y en gran medida de olores van de las dependencias limpias hacia el aseo.

El extractor en línea para conducto escogido es un modelo con 0,08 kW de potencia.

4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN

4.1 CÁLCULO DE LÍNEAS DE BAJA TENSIÓN

Para el dimensionado de los cables se han utilizado los criterios de intensidad máxima admisible, caída de tensión (se han considerado unas caídas de tensión máximas del 4,5% para los circuitos de alumbrado y del 6,5% para el resto de circuitos) e intensidad de cortocircuito (que en baja tensión no suele ser limitativo), tomándose en cada caso el más restrictivo, dado que se trata de un transformador de distribución propio, [19].

4.1.1 Criterio de la intensidad máxima admisible o de calentamiento

La densidad de corriente en el conductor debe ser limitada para disminuir el calentamiento producido al circular la corriente eléctrica. Este criterio fija la máxima intensidad de corriente por el conductor.

Se aplicará para el cálculo por calentamiento lo expuesto en la norma UNE 20460, [32]. La intensidad máxima que debe circular por un cable para que éste no se deteriore viene indicada en tablas. En función de la instalación adoptada y del tipo de cable, se elegirá la tabla de intensidades máximas que hay que utilizar.

La intensidad máxima admisible se ve afectada por una serie de factores como son la temperatura ambiente, la agrupación de varios cables, la exposición al sol, etc., que, generalmente, reducen su valor.

La distribución se realizará de tres maneras:

- En bandeja de PVC perforada.
- Bajo tubo en falso techo: líneas de alimentación monofásicas con cables multipolares (tipo manguera)
- Bajo tubo empotrado: líneas de alimentación monofásicas con cables multipolares (tipo manguera).

Suponiendo que por cada tubo discurre sólo un circuito, la intensidad máxima que admiten los cables es la indicada en las tablas. Sin embargo, en el caso de la bandeja, al discurrir por ella varios circuitos, la intensidad debe ser reducida por el factor 0,7, para más de 2 circuitos. Dado que varios circuitos presentan diferentes tipos de montaje, y para facilitar los cálculos, se considera el tipo de instalación más desfavorable (varios circuitos multipolares en bandeja lisa de PVC con tapa)

Aplicando este factor de corrección (0,7) a la intensidad máxima que admiten los cables, se obtiene la intensidad máxima real. Este valor se comparará con el de la intensidad nominal que va a circular por los cables para comprobar que la sección elegida es la adecuada.

Las formulas utilizadas para el criterio de máxima intensidad son:

Cálculo de intensidad máxima

La intensidad que circula por un circuito viene dada por las siguientes expresiones:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}$$

(Circuito trifásico) (16)

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi}$$

(Circuito monofásico) (17)

Donde:

- P Potencia activa del consumo eléctrico que se alimenta [W]
- U Tensión de alimentación [V]
- I Intensidad [A]
- Cos φ Factor de potencia

Para el cálculo de la intensidad máxima de los circuitos de alumbrado se aplicara un coeficiente de valor 1,8 según se establece el REBT, y se tendrá en cuenta un factor de potencia de 0,9.

En el cálculo de la intensidad máxima en motores, se dimensionarán para una intensidad del 125% de la intensidad a plena carga del motor.

Para determinar la sección mínima del cable se han tenido en cuenta las intensidades máximas admisibles indicadas en la tabla 1 de la ITC-BT-19 para cables multiconductores (para secciones inferiores a 70 mm²) en tubos en montaje superficial o empotrados en obra, con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE).

4.1.2 Criterio de la caída de tensión

La circulación de corriente a través de los conductores ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones en el origen y extremo de la canalización. Esta caída de tensión debe ser inferior a los límites marcados por el REBT en cada parte de la instalación, con el objeto de garantizar el funcionamiento de los receptores alimentados por el cable, los cuales deben estar conectados a la tensión nominal

para su correcto funcionamiento. Este criterio suele ser el determinante cuando las líneas son de larga longitud.

Este método permite limitar la caída de tensión en toda la instalación a 4,5% para alumbrado, y a 6,5% para el resto de circuitos. Estos valores han de mantenerse desde el origen de la instalación, es decir, desde el transformador. Para el cálculo de la sección por caída de tensión, se utilizarán las siguientes fórmulas:

Cálculo de caída de tensión

Para el cálculo de la caída de tensión en las líneas de alimentación se han empleado las siguientes fórmulas:

$$\Delta U(\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)}{U} \cdot 100$$

(Sistema trifásico) (18)

$$\Delta U(\%) = \frac{I \cdot L \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)}{U} \cdot 100$$

(Sistema monofásico) (19)

Donde:

- ΔU Caída de tensión [%]
- U Tensión nominal
- L Longitud del cable, sólo ida [m]
- R Resistencia (a 50 Hz) del cable por unidad de longitud [ohm/m]
- X Reactancia (a 50 Hz) del cable por unidad de longitud [ohm/m]
- $\cos\varphi$ Factor de potencia de la carga
- I Intensidad [A]

Se tomará como la máxima caída de tensión admisible entre el transformador y los consumidores será inferior al 4,5% y 6,5 %. Esta caída de tensión máxima se repartirá entre los diferentes tramos en que está dividido el sistema eléctrico, con el propósito de optimizar el tamaño y número de conductores.

4.1.3 Criterio de la intensidad de cortocircuito

Debe limitarse la intensidad de corriente de cortocircuito porque su valor muy elevado produce un excesivo calentamiento del conductor y puede originar que las fuerzas que tienden a separar o a juntar conductores próximos recorridos por esa corriente, tomen un valor excesivo.

La temperatura que puede alcanzar el conductor del cable, como consecuencia de un cortocircuito o sobreintensidad de corta duración, no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (para menos de 5 segundos) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en las normas particulares de los cables y suele ser de 160°C para cables con aislamientos termoplásticos y de 250°C para cables con aislamientos termoestables, [25].

Este criterio, aunque es determinante en instalaciones de alta y media tensión, no lo es en instalaciones de baja tensión alejadas del centro de transformación que las alimenta, ya que la intensidad de corriente y el calentamiento producido no llegan a valores peligrosos antes de que actúen las protecciones contra sobreintensidad. A continuación se reflejan las formulas que se han tenido en cuenta:

Cálculo de la intensidad de cortocircuito

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se va a considerar el caso más desfavorable que consiste en tomar la potencia de la red exterior como infinita y el defecto a tener en cuenta el trifásico, ya que es el más severo por producir las corrientes más elevadas de los que pueden suceder (trifásico, monofásico y bifásico).

Para el cálculo de esta corriente se emplea la siguiente fórmula:

$$I_{cc} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{cc}} \quad (20)$$

Donde:

- I_{cc} Intensidad de cortocircuito.
- U Tensión nominal.
- Z_{cc} Impedancia de cortocircuito de línea.

Para el caso de los cuadros alimentados por una fase y el neutro, la única falta posible es la monofásica. Para el cálculo de esta corriente de cortocircuito se emplea la siguiente fórmula:

$$I_{cc} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{cc} + Z_{LN}} \quad (21)$$

Donde también hay que considerar la impedancia de la línea de neutro ZLN.

Intensidad de cortocircuito máxima admisible

Se considerará que el conductor no puede superar los 250 °C de temperatura en caso de cortocircuito en el conductor y que el proceso del cortocircuito es adiabático. Para determinar la intensidad máxima admisible se utilizará la siguiente fórmula:

$$I_{max} = k \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} \quad (22)$$

Donde:

- I Intensidad máxima admisible en cortocircuito (A/mm²)
- t Tiempo de despeje de falta (segundos)
- K Constante de valor igual a 142 (temperatura inicial del conductor de 90 °C)

Se comprueba que todos los conductores son capaces de soportar la intensidad máxima de cortocircuito en función del tiempo de despeje de falta.

4.1.4 Resultados obtenidos.

El secundario del transformador que alimenta a los servicios auxiliares que se proyecta es de 220 V entre fases y 127 V fase-neutro.

Modos de Alimentación:

(M) Monofásico: Fase-Neutro 127 V

(B) Bifásico: Fase-Fase 220 V.

(T) Trifásico: Fase(R) Fase(S) Fase(T) 220 V

Conocida la potencia consumida y número de luminarias necesarias para el edificio de control, las características de las tomas de fuerza bifásicas y trifásicas, los extractores a implementar, y el resto de elementos que se instalarán en baja tensión podemos calcular que magnitud tendrá la intensidad nominal para cada uno de los circuitos, y la caída de tensión nominal y porcentual acumulada para la instalación completa. Recogemos estos resultados la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9, obtenidos según características de cada elemento y la formulación descrita en los puntos 4.1.1 y 4.1.2.

Circuitos Baja Tensión																	
Cuadro de Alumbrado Interior y Exterior																	
Círculo		Potencia (w)	Factor Sim.	In (A)	Tipo de Receptor	F.P.	Tipo de Inst	Tipo de Inst.	Metal Cu/Al	Aisl. Cond	Int. Máx. Adm	Nº Cables Paralelos	Sección (mm²)	Tensión (V)	L (m)	ΔU (%) Parcial	ΔU (%) Acumulada
Utilización	Símbolo																
Alumbrado Sala Transformador G1	AF-A01	348	1	1,76	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	10	0,29	0,29
Alumbrado Sala Transformador G2	AF-A02	348	1	1,76	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	10	0,29	0,29
Alumbrado Sala Rectificador G1	AF-A03	216	1	1,09	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	10	0,18	0,18
Alumbrado Sala Rectificador G2	AF-A04	216	1	1,09	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	10	0,18	0,18
Alumbrado Sala Transformador SSAA	AF-A05	72	1	0,36	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	6	0,04	0,04
Alumbrado Sala General	AF-A06	768	1	3,88	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	40	2,54	2,54
Alumbrado Sala General	AF-A07	640	1	3,23	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	40	2,12	2,12
Alumbrado Aseo 1	AF-A08	64	1	0,32	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	15	0,08	0,08
Alumbrado Aseo 2	AF-A09	64	1	0,32	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	15	0,08	0,08
Alumbrado Aseo 3	AF-A10	64	1	0,32	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	15	0,08	0,08
Alumbrado Sala de Señales	AF-A11	144	1	0,73	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	18	0,21	0,21
Alumbrado Sala de Video	AF-A12	72	1	0,36	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	20	0,12	0,12
Alumbrado Oficina	AF-A13	144	1	0,73	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	20	0,24	0,24
Alumbrado Sala PLO	AF-A14	72	1	0,36	Alumbrado	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	20	0,12	0,12
Alumbrado Exterior 1	AF-AE01	600	1	3,03	Alumbrado	0,9	Monofásica	E	Cu	XLPE	37	1	6	220	90	1,86	1,86
Alumbrado Exterior 2	AF-AE02	400	1	2,02	Alumbrado	0,9	Monofásica	E	Cu	XLPE	37	1	6	220	90	1,24	1,24
Alumbrado Exterior 3	AF-AE03	400	1	2,02	Alumbrado	0,9	Monofásica	E	Cu	XLPE	37	1	6	220	90	1,24	1,24

Tabla 7 – Cuadro eléctrico para el alumbrado interior y exterior.

Circuitos Baja Tensión																	
Cuadro de Tomas de Fuerza																	
Círculo		Potencia (w)	Factor Sim.	In (A)	Tipo de Receptor	F.P.	Tipo de Inst	Tipo de Inst.	Metal Cu/Al	Aisl. Cond	Int. Máx. Adm	Nº Cables Paralelos	Sección (mm²)	Tensión (V)	L (m)	ΔU (%) Parcial	ΔU (%) Acumulada
Utilización	Símbolo																
Extractor 1	EXT-1	216	1	1,09	T. Fuerza	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	60	1,07	1,07
Extractor 2	EXT-2	16	1	0,08	T. Fuerza	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	80	0,11	1,18
Extractor 3	EXT-3	300	1	1,52	T. Fuerza	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	25	1	2,5	220	40	0,99	2,17
Tomas monofásicas 1	AF-F01	3168	1	16,00	T. Fuerza	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	34	1	4	220	80	13,09	15,26
Tomas monofásicas 2	AF-F02	4752	1	24,00	T. Fuerza	0,9	Monofásica	I	Cu	XLPE	34	1	4	220	80	19,64	34,9
Tomas trifásicas 1	AF-F03	4950	1	14,45	T. Fuerza	0,9	Trifásica	I	Cu	XLPE	34	1	6	220	80	6,82	22,08
Tomas trifásicas 2	AF-F04	4950	1	14,45	T. Fuerza	0,9	Trifásica	I	Cu	XLPE	34	1	6	220	80	6,82	41,72

Tabla 8 – Cuadro eléctrico de baja tensión para tomas de fuerza y ventilación.



Cálculos de corriente continua:

Las cargas referentes al alumbrado de socorro vienen alimentadas desde una batería de continua con una tensión de suministro de 110 V.

Circuitos de baja tensión													
Cuadro de Alumbrado de Socorro													
Circuito		Potencia (w)	In (A)	Factor de Simult.	Tipo de Receptor	Metal Al/Cu	Aisl. Conductor	Nº cables paralelos	Sección (mm²)	Tensión (V)	L (M)	ΔU (%) Parcial	ΔU (%) Acumulada
Utilización	Símbolo												
Alumbrado socorro 1	AFS-A01	55	0,5	1	Alumbrado	Cu	XLPE	1	2,5	110	20	0,09	0,09
Alumbrado socorro 2	AFS-A02	66	0,6	1	Alumbrado	Cu	XLPE	1	2,5	110	40	0,22	0,22
Alumbrado socorro 3	AFS-A03	66	0,6	1	Alumbrado	Cu	XLPE	1	2,5	110	50	0,27	0,27
Alumbrado socorro Exterior	AFS-AE01	200	1,82	1	Alumbrado	Cu	XLPE	1	6	110	60	0,41	0,41

Tabla 9 – Cuadro eléctrico de baja tensión para el alumbrado de socorro.

4.2 CÁLCULO DE ILUMINACIÓN

4.2.1 Alumbrado interior

La iluminación interior para el edificio de control de la subestación se realizará mediante luminarias fluorescentes empotradas o adosadas en función de las características de la sala a iluminar.

El tipo de alumbrado dependerá de las zonas a tratar y serán las siguientes:

- En los aseos se dispondrá de iluminación *downlight* de 2x32 W
- Las salas de transformadores estarán equipadas con luminarias fluorescentes de pantalla estanca a empotrar en techo y paredes de 2x58 W.
- El resto de salas estarán equipadas con luminarias fluorescentes para adosar en el falso techo del edificio de control, siendo de 4x36 W o 4x18 W dependiendo de las necesidades.

Las luminarias se han considerado como genéricas pero se han seguido unos estándares según el Catálogo de Iluminación Interior de Philips, [22].

Los criterios seguidos para proyectar la iluminación han seguido las directrices de la norma UNE 12464-1 [33]. A continuación se muestran los niveles principales luminotécnicos que han de cumplirse como mínimo:

- Aseos: 200 lux
- Salas Técnicas: 200 lux
- Áreas de oficina: 300 lux

Se ha realizado el cálculo por el método “punto por punto”. Para realizar dicho cálculo, se tiene que partir de los datos fotométricos de los aparatos (curvas isocandelas). En primer lugar, se hallan las coordenadas angulares de un punto de medición con respecto a un aparato y su punto de enfoque; con estos datos se encuentra la intensidad, en candelas, en la dirección del punto a estudiar, aplicando a continuación la fórmula básica de la luminotecnica:

$$E = \frac{I_p \cdot \cos^3 \alpha \cdot \cos^3 \beta}{H^2} \quad (23)$$

Siendo:

- α = Orientaciones cenital.

- β = Orientaciones azimuthal.
- H = Altura de instalación de instalación de cada aparato.
- A,B = Dimensiones de la zona a estudiar
- NA, NB = Divisiones en cada lado del rectángulo.
- XT, YT = Coordenadas de la situación de cada aparato.
- XP, IP = Coordenadas del punto de enfoque de cada aparato

Para introducir los datos relativos a la superficie a estudiar y a los aparatos, se establece un sistema de ejes de coordenadas y se adapta el espacio, si no lo es, a una superficie rectangular.

A partir de las coordenadas de situación y de enfoque de cada aparato y de su altura de instalación, se calculan las orientaciones α y β del punto, y aplicando su correspondiente I_p a la fórmula de más arriba, calcula la iluminancia correspondiente a cada punto.

Todo este procedimiento teórico se ha diseñado por mediación del programa software DIALUX. Este programa permite determinar la geometría de cada uno de los locales que se pretende iluminar y diseñar la distribución de las luminarias en función de las características pertinentes, [34].

A continuación, en las Figuras 12-15 se muestran las luminarias utilizadas con sus distribuciones lumínicas, y a continuación los resultados obtenidos para las diferentes estancias de la subestación.

4.2.1.1 Luminarias utilizadas

4.2.1.1.1 DOWNLIGHT 2X32 W

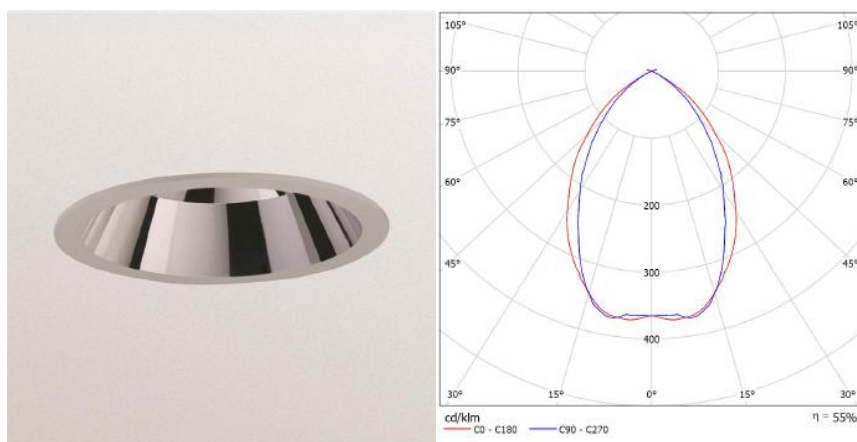


Figura 12 – Luminaria *downlight* 2x32 W

4.2.1.1.2 LUMINARIA PANTALLA ESTANCA 2X58 W

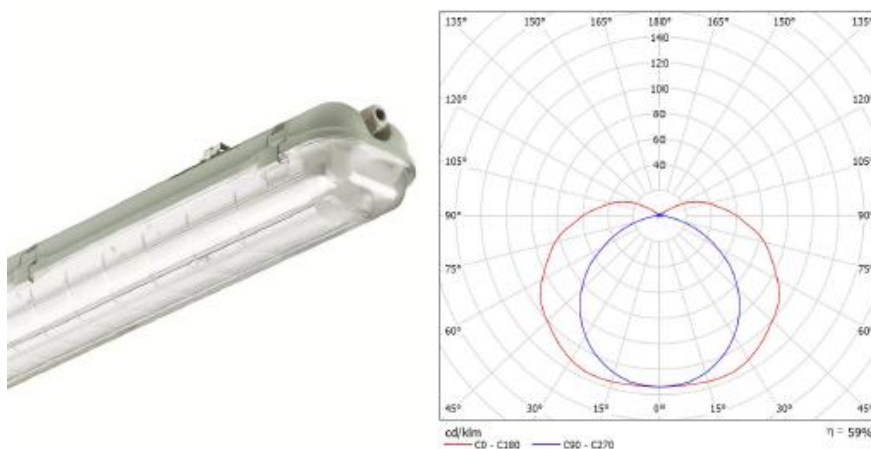


Figura 13 – Luminaria pantalla estanca 2x58 W.

4.2.1.1.3 LUMINARIA FLUORESCENTES A ADOSAR 4X32 W

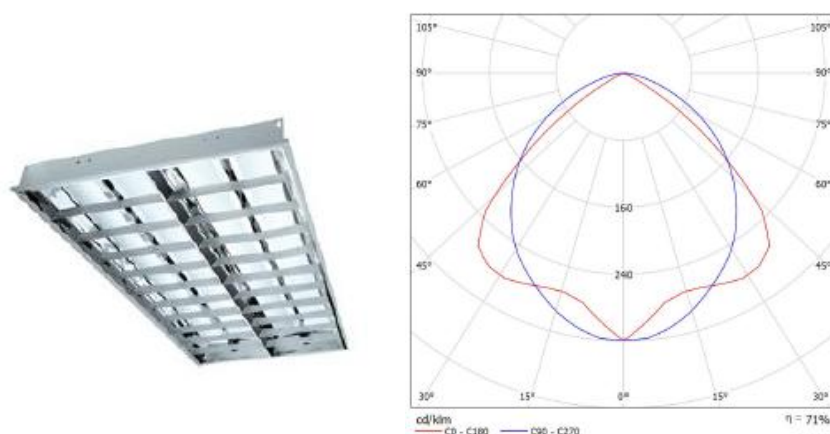


Figura 14 – Luminaria fluorescente a adosar 4x32 W

4.2.1.1.4 LUMINARIA FLUORESCENTES A ADOSAR 4X18 W

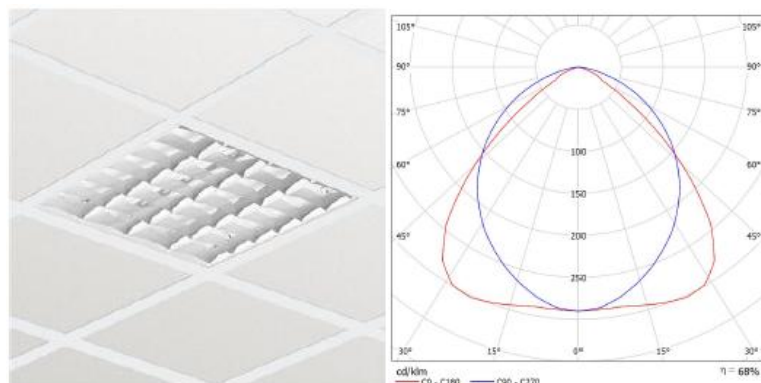


Figura 15 – Luminaria fluorescente a adosar 4x18 W

4.2.1.2 Estudio lumínicos de las salas

A continuación se muestra la distribución de las luminarias para cada una de las salas del edificio de control, así como sus niveles de luminiscencia con diagramas de isolíneas, gráficos de valores y los datos básicos lumínicos de cada espacio.

E_m Luminiscencia media
 E_{max} Luminiscencia máxima
 E_{min} Luminiscencia mínima

4.2.1.2.1 Sala general

Obtenemos la distribución de luminarias y el diagrama de isolíneas según la Figura 16.

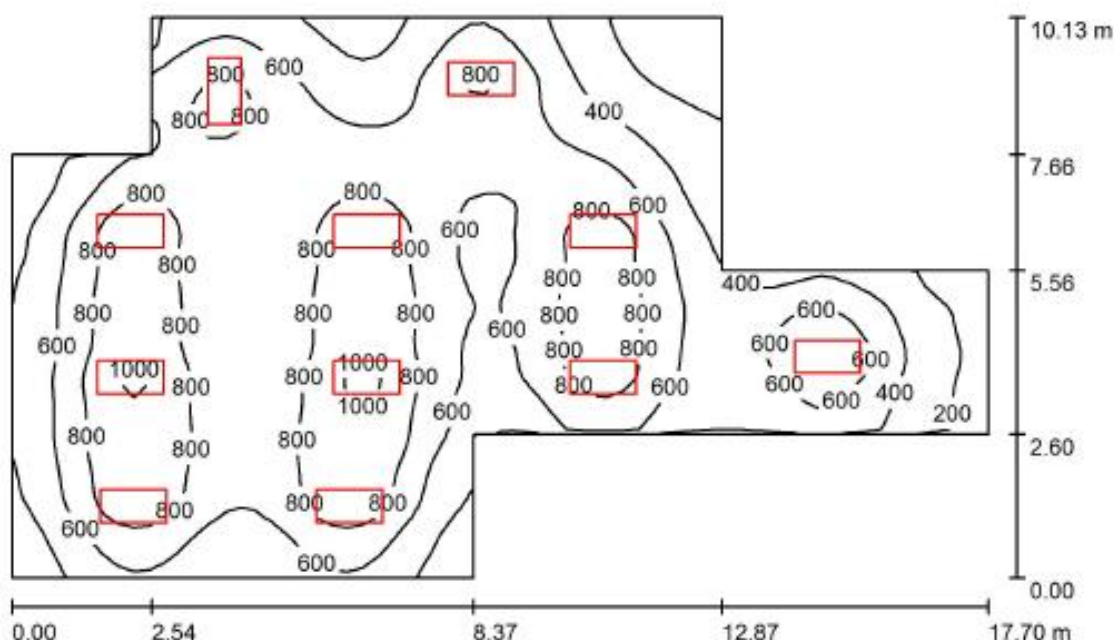


Figura 16 – Distribución de luminarias e isolíneas para la sala general

Valores lumínicos para la sala general recogidos en la figura 17:

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	626	86	1060	0.137
Suelo	20	574	156	884	0.272
Techo	70	118	65	150	0.550
Paredes (10)	50	245	70	791	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m

Figura 17 – Valores lumínicos para la sala general

4.2.1.2.2 Salas de los transformadores

Obtenemos la distribución de luminarias y el diagrama de isolíneas según la Figura 18.

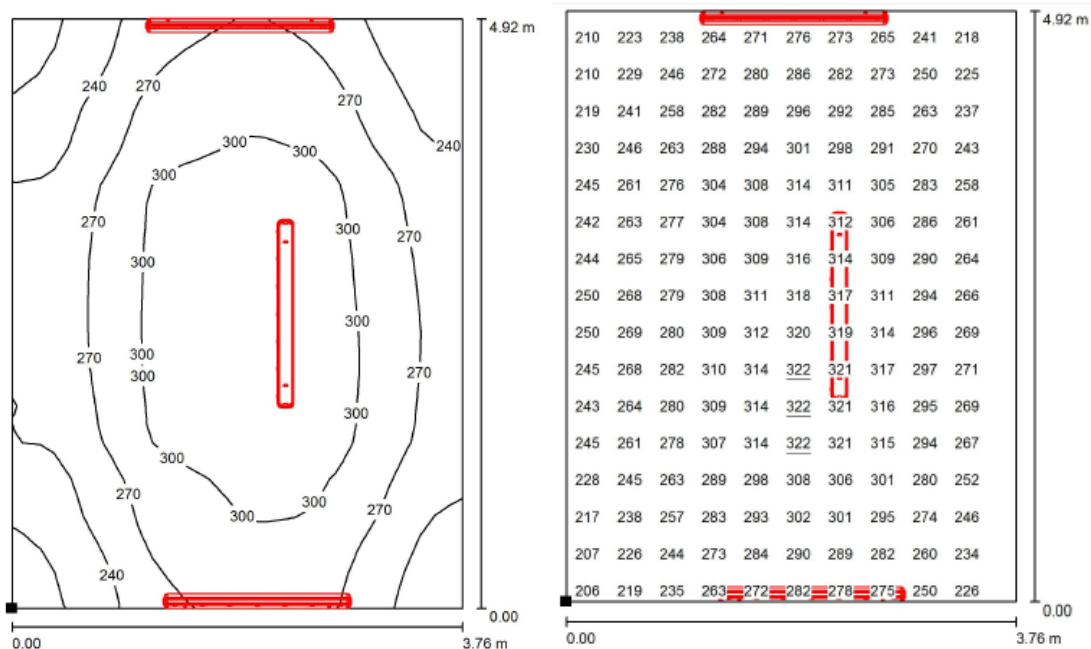


Figura 18 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala de transformadores

Valores lumínicos para las salas de los transformadores:

E_m [lx]	$E_{m, h}$ [lx]	$E_{m, ax}$ [lx]	$E_{m, h} / E_m$	$E_{m, h} / E_{m, ax}$
275	202	322	0.733	0.626

4.2.1.2.3 Salas de los Rectificadores

Obtenemos la distribución de luminarias y el diagrama de isolíneas según la Figura 19.

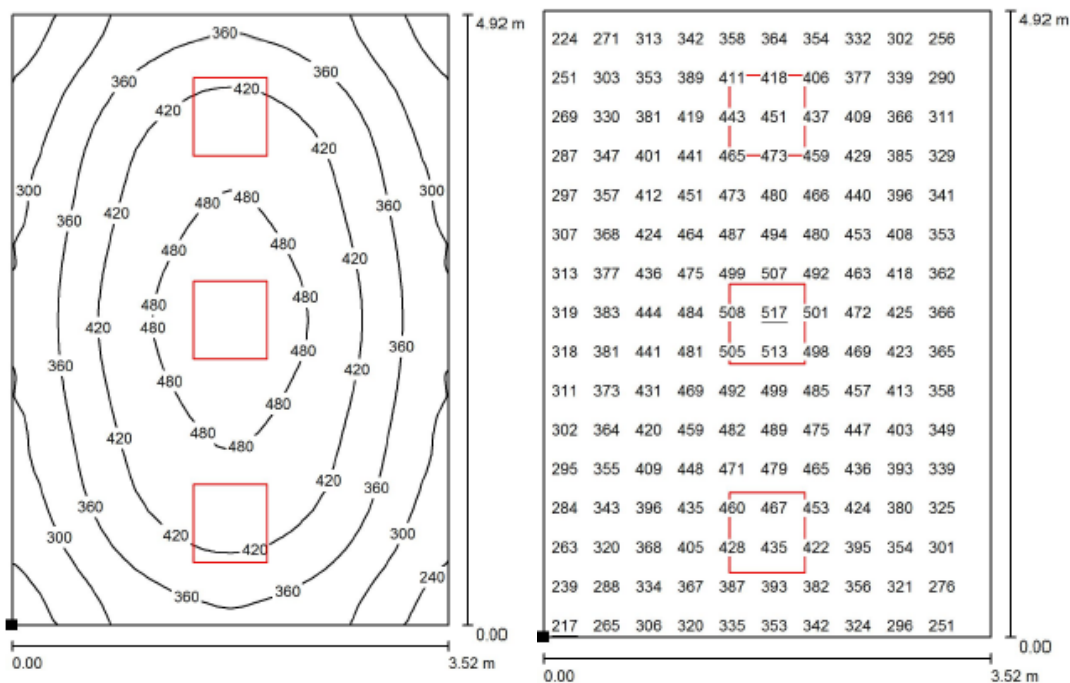


Figura 19 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala de rectificadores

Valores lumínicos para las salas de los rectificadores.

E_m [lx]	$E_{m, \min}$ [lx]	$E_{m, \max}$ [lx]	$E_{m, \min} / E_m$	$E_{m, \min} / E_{m, \max}$
384	217	517	0.565	0.420

4.2.1.2.4 Aseos

El aseo se divide en tres salas iluminadas independientemente. Para cada sala adjuntamos la tabla de valores lumínicos junto con las figuras que muestran las isolíneas y el diagrama de valores.

Sala de aseo y ducha.

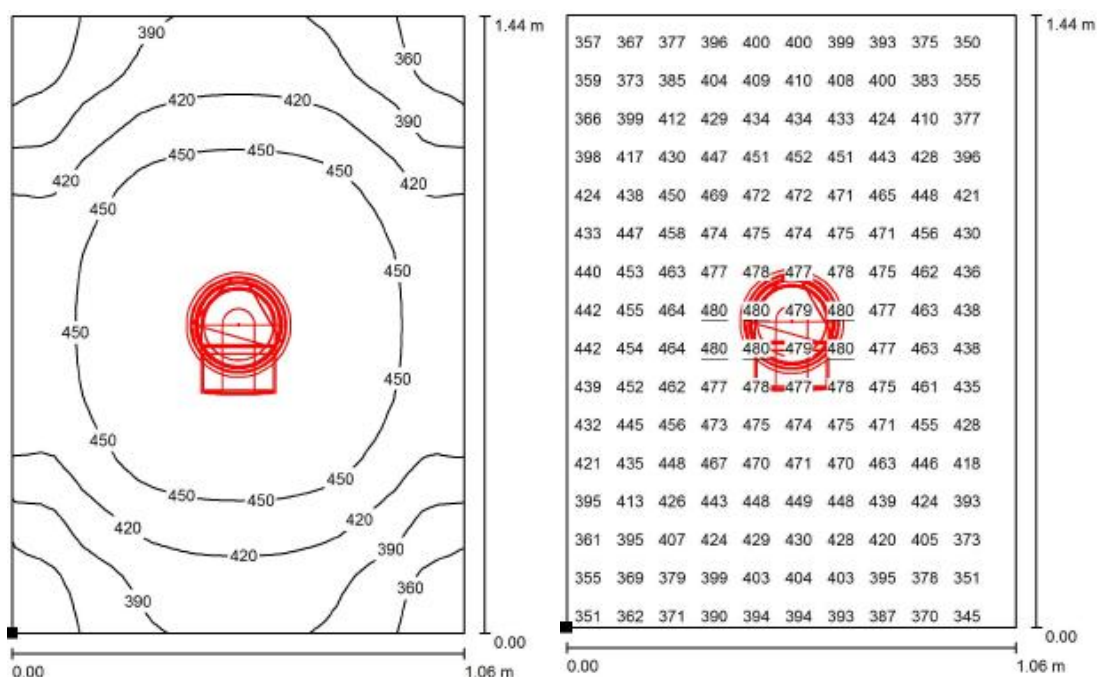


Figura 20 – Isolíneas y diagrama de valores para el aseo y ducha.

Valores lumínicos para la sala de aseo y ducha.

E_m [lx]	$E_{m, h}$ [lx]	$E_{m, ax}$ [lx]	$E_{m, h} / E_m$	$E_{m, h} / E_{m, ax}$
428	342	480	0.797	0.711

4.2.1.2.5 Sala de Señales

Obtenemos la distribución de luminarias y el diagrama de isolíneas según la Figura 21.

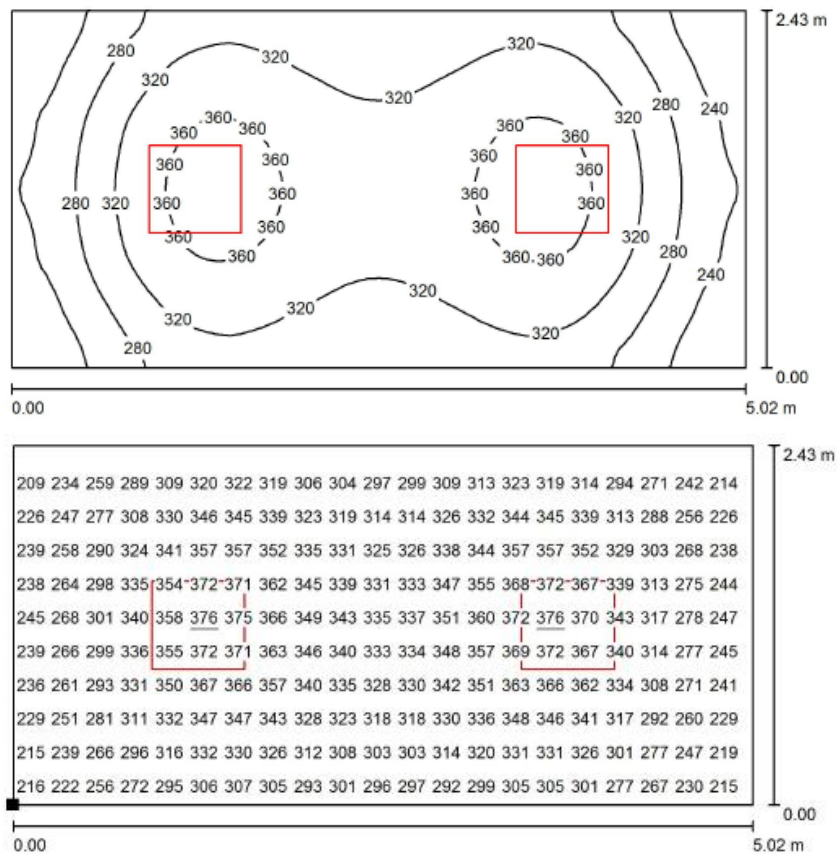


Figura 21 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala de señales.

Valores lumínicos para la sala de señales.

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
309	199	376	0.645	0.530

4.2.1.2.6 Sala de vídeo

Obtenemos la distribución de luminarias y el diagrama de isolíneas según la Figura 22.

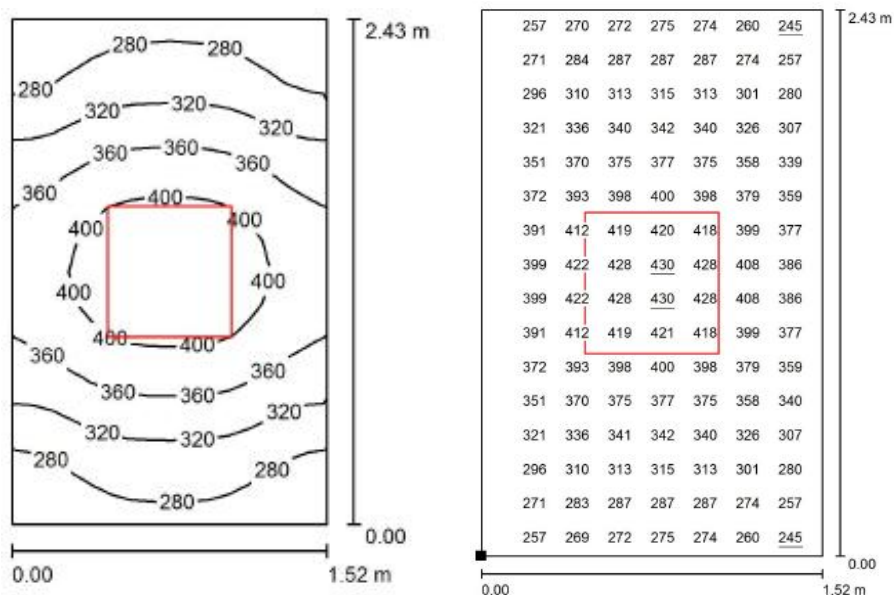


Figura 22 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala de vídeo.

Valores lumínicos para la sala de vídeo.

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
340	245	430	0.719	0.568

4.2.1.2.7 Sala PLO

Obtenemos la distribución de luminarias y el diagrama de isolíneas según la Figura 23.

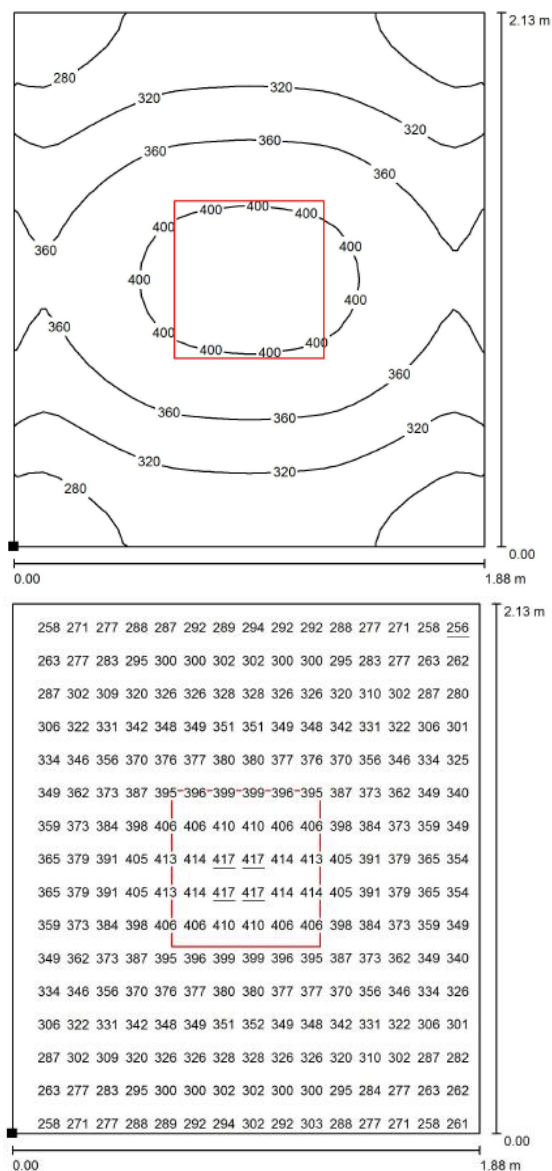


Figura 23 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala PLO.

Valores lumínicos para la sala PLO.

E_m [lx]
340

E_{min} [lx]
256

E_{max} [lx]
417

E_{min} / E_m
0.752

E_{min} / E_{max}
0.614

4.2.1.2.8 Oficina

Obtenemos la distribución de luminarias y el diagrama de isolíneas según la Figura 24.

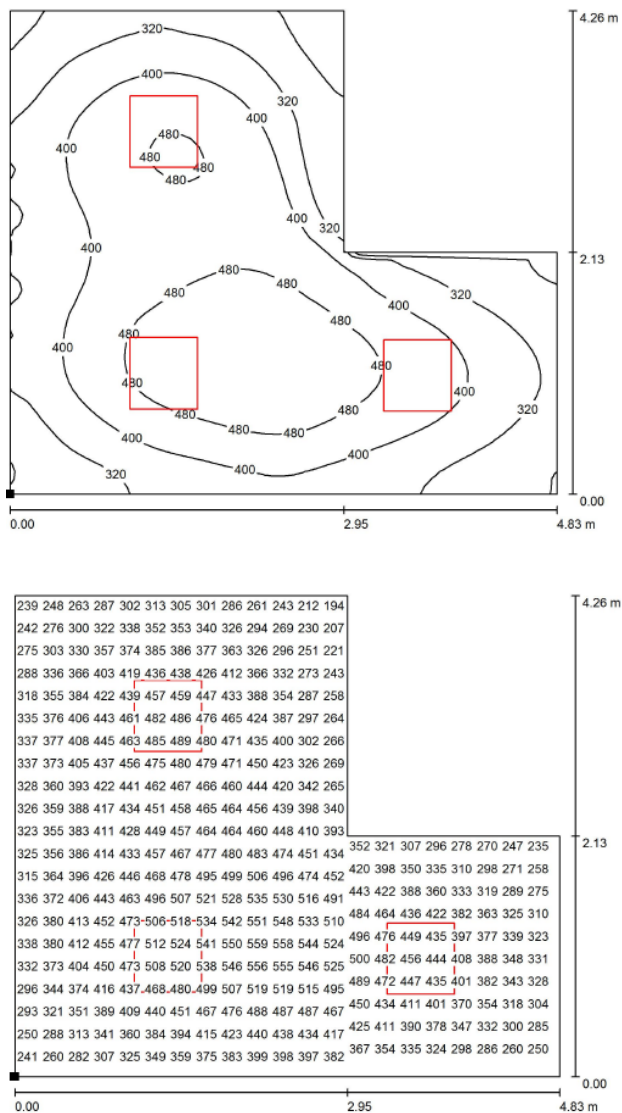


Figura 24 – Isolíneas y diagrama de valores para la oficina.

Valores lumínicos para la oficina.

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
393	193	560	0.491	0.345

4.2.1.2.9 Sala del transformador de SSAA

Obtenemos la distribución de luminarias y el diagrama de isolíneas según la Figura 25.

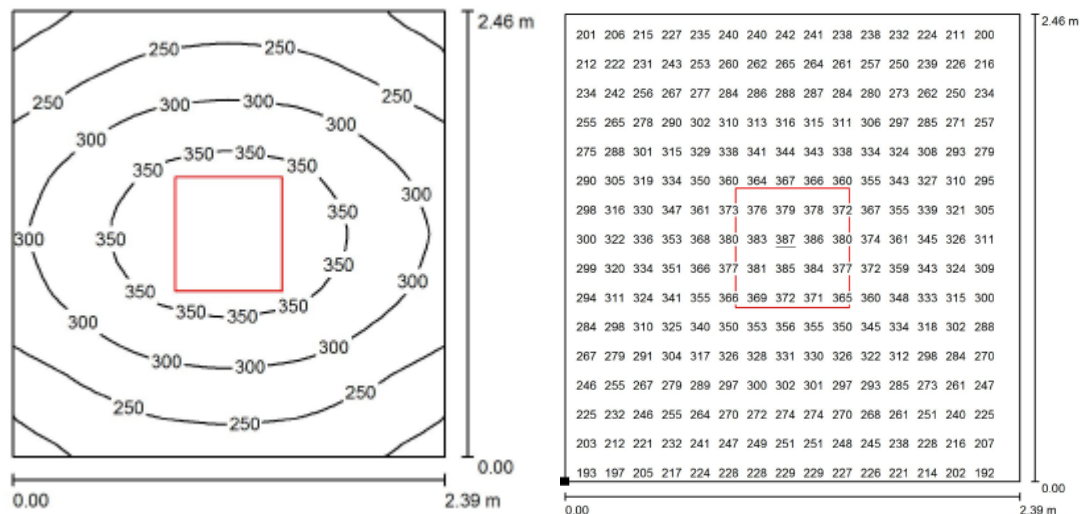


Figura 25 – Isolíneas y diagrama de valores para la sala SSAA..

Valores lumínicos para la sala del transformador de SSAA.

E_m [lx]
290

$E_{m, \min}$ [lx]
187

$E_{m, \max}$ [lx]
387

$E_{m, \min} / E_m$
0.644

$E_{m, \min} / E_{m, \max}$
0.483

4.2.2 Alumbrado exterior

El cálculo del alumbrado exterior se deberá realizar conforme al RD 1890/2008, de 14 de noviembre, Reglamento de eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado exterior. Se instalan luminarias exteriores y proyectores como se muestra en el plano 05 Alumbrado interior y exterior para iluminar el perímetro exterior del edificio de control de la subestación. Se ha tenido en consideración para el cálculo de carga de baja tensión.

4.2.3 Alumbrado de emergencia

La iluminación de emergencia proporcionará en las vías de evacuación un nivel de iluminación no inferior a 1 lux a nivel de suelo y en el eje de los pasos principales. La iluminancia mínima en cuadros de alumbrado y cuadros de control de detección y extinción de incendios será de 5 lux. La relación entre la iluminancia máxima y la mínima en el eje de los pasos principales será menor de 40. Asimismo, se ha dispuesto el alumbrado ambiente o antipánico de 0,5 lux en las zonas no consideradas recorridos de evacuación, [35] [8].

Se prevé un alumbrado de emergencia y señalización a base de aparatos autónomos con batería para 1 h de duración, que se colocan señalizando salidas, escaleras y demás dependencias, [7]. Los diferentes tipos de alumbrado de emergencia serán de 583, 220 y 100 lúmenes.

4.2.4 Alumbrado de seguridad

La iluminación de seguridad proporcionará un nivel de iluminación mínimo dentro la subestación. Todos los aparatos autónomos cumplirán los reglamentos citados en el punto anterior.

5. CALCULOS JUSTIFICATIVOS DE LA ACOMETIDA DE 30 KV

5.1 Cálculos eléctricos línea alta tensión 30 kV

5.1.1 Condiciones de partida

Para el dimensionamiento de la sección del cable de las líneas trifásicas de alimentación en 30 kV a la subestación de tracción se ha partido de los siguientes condicionantes:

- Potencia de transporte nominal: 2 grupos de 3.300 kVA + 250 kVA de servicios auxiliares al 150 %. Esto supone una intensidad de 135 A en tiempo permanente.
- Sobrecarga admisible en 2 horas: el grupo al 150% de carga + 250 kVA de servicios auxiliares. Esto supone una intensidad de 197,74 A en 2 horas.
- Sobrecarga admisible en 5 minutos: el 300% de carga + 250 kVA de servicios auxiliares. Esto supone una intensidad de 388,27 A en 5 minutos.
- Caída de tensión en todo el tramo inferior al 3 %.
- Intensidad máxima de cortocircuito trifásico: 21,3 kA. Este valor se ha tomado de los datos aportados por la compañía suministradora.
- Intensidad máxima de cortocircuito monofásico: 6,5 kA. Este valor se ha tomado de los datos aportados por la compañía.
- Tiempo máximo considerado de actuación de la intensidad de corto: 0,5 seg. Este valor se ha tomado de los datos aportados por la compañía suministradora.

5.1.2 Cable adoptado

La línea de alta tensión estará compuesta por tres unipolares con aislamiento 18/30 kV, con conductor de aluminio de las siguientes características:

FUNCIÓN	SECCIÓN ALMA (MM ²)	SECCIÓN PANTALLA (MM ²)	INT ADMIS	DESCRIPCION
Unipolar 30 kV	240, Al	25, Cu	345 A	AL HEPR Z1 18/30 kV

Tabla 10 – Cable unipolar 18/30 kV de la acometida eléctrica 30kV

INT ADMIS = Intensidad admisible del cable de forma permanente, garantizada por el fabricante e igual a la mínima exigida por reglamento, para que su temperatura no supere

los 105°C, enterrado a 1 m de profundidad, temperatura de terreno 25 °C y resistividad térmica 1,5 K·m/W, [26].

Se tenderán dos líneas trifásicas bajo la siguiente distribución:

- La longitud de las líneas es de 1000 metros cada una aproximadamente.
- Se tenderán dos tubos de PVC en paralelo por cada uno de los cuales discurrirá cada una de las líneas trifásicas.
- La disposición de la terna de cables dentro del tubo de plástico será al tresbolillo
- La profundidad del lado superior del tubo de plástico será de 0,6 m.
- Las pantallas de los cables se pondrán rígidamente a tierra en cada uno de los extremos.

Características relativas a la impedancia del cable, medidas por el fabricante:

- | | |
|--|-------|
| - Resistencia máxima en c.c. a 20°C
Ω/km | 0,125 |
| - Resistencia máxima en c.c. a 105°C
Ω/km | 0,168 |
| - Reactancia a 50 Hz
Ω/km | 0,109 |
| - Capacidad
$\mu\text{F}/\text{km}$ | 0,301 |

5.1.3 Dimensionamiento del cable

Comprobación de la sección del conductor por intensidad admisible

A continuación se describe brevemente el proceso de cálculo utilizado para el dimensionamiento del cable.

Primeramente se determina la carga nominal de transporte de la línea en función de los consumos demandados por la subestación. Con esta demanda determinamos la sección del conductor en función de la intensidad máxima admisible facilitada por el RLAT.

Corriente alterna trifásica (A):

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} \quad (24)$$

Donde:

P = Potencia en W.

V = Tensión en Voltios.

Cos φ = Factor de Potencia.

Utilizamos el ciclo de carga con el que trabaja el transformador de potencia para determinar la intensidad promedio máxima demandada (carga cíclica).

- En régimen permanente trabaja de forma continuada.
- A 1.5 p.u. de la intensidad, a 150% de carga, podrá mantenerse durante 2 horas, siendo necesarias 3 horas de duración hasta la próxima subida a este servicio.
- A 3 p.u. de la intensidad, a 300% de carga, serán 5 minutos de duración, y podrá repetirse una vez pasados 1800 segundos.

Intensidad promedio admisible máxima (A):

$$I_m = \sqrt{\frac{\sum_0^i I_i^2 * t_i}{\sum t_i}} \quad (25)$$

donde:

I_i = Intensidades máximas admisibles en las diferentes clases de servicio. (A)

t_i = Tiempos de trabajo en las diferentes clases de servicio. (s)

Así, para el caso más desfavorable (dos transformadores de tracción funcionando y el transformador de SSAA al 150 % de su carga) tendremos una intensidad promedio admisible máxima de 188 A.

La intensidad máxima admisible que corresponde a un cable de sección de 240 mm² en servicio permanente y con corriente alterna, en cables unipolares de aluminio aislados de hasta 18/30kV bajo tubo con HEPR es de 345 A, según el Reglamento de Líneas de Alta Tensión, por lo que debe ser suficiente, [26] [20].

Sección (mm ²)	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	115	90	120	90	125	95
35	135	105	145	110	150	115
50	160	125	170	130	180	135
70	200	155	205	160	220	170
95	235	185	245	190	260	200
120	270	210	280	215	295	230
150	305	235	315	245	330	255
185	345	270	355	280	375	290
240	400	310	415	320	440	345
300	450	355	460	365	500	390
400	510	405	520	415	565	450

Tabla 11. Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y con corriente alterna. Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV bajo tubo.

A esta intensidad máxima admisible por el cable se le deben aplicar los factores de corrección correspondientes a la temperatura y resistividad del terreno, profundidad de la instalación, distancia existente entre ternos y conexión a tierra de las pantallas...

Fijamos estas variables basándonos en las condiciones meteorológicas y condiciones del terreno para obtener los factores correspondientes de las tablas facilitadas en el Reglamento de Líneas de Alta Tensión que adjuntamos a continuación.

5.1.3.1 Cálculo del factor de corrección para temperaturas terreno distintas a 25 °C.

Dadas las condiciones climatológicas de la zona de tendido de la línea se considera que la máxima temperatura exterior estará en torno a los 30 °C. Por este motivo ha de tenerse en cuenta el factor de corrección correspondiente, según la siguiente la Tabla 12.

Temperatura °C Servicio Permanente θ_s	Temperatura del terreno, θ_t , en °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
105	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,90	0,87	0,83
90	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
70	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67
65	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61

Tabla 12. Factor de corrección, F, para temperatura del terreno distinta de 25 °C

La temperatura en servicio permanente de un cable con aislamiento HEPR es de 105 °C.

De acuerdo a la Tabla 12 obtenida del RLAT, el coeficiente de corrección para una temperatura del suelo de 30°C, es de 0,97.

5.1.3.2 Cálculo del factor de corrección para resistividad térmica del terreno distinta a 1.5 K.m/W

Acorde con las características del terreno sobre el que se va a realizar la instalación (con una resistividad de 0,85 k.m/W suponiendo un terreno poco húmedo) y conociendo que el cable de 240 mm² irá en el interior de tubos enterrados, estimamos del RLAT un factor de corrección para la resistividad térmica de 1.135.

La resistividad del terreno utilizada es estimada según la siguiente tabla:

Resistividad térmica del terreno (K.m/W)	Naturaleza del terreno y grado de humedad
0,40	Inundado
0,50	Muy húmedo
0,70	Húmedo
0,85	Poco húmedo
1,00	Seco
1,20	Arcilloso muy seco
1,50	Arenoso muy seco

Tabla 13. Resistividad térmica del terreno en función de su naturaleza y humedad

Tipo de instalación	Sección del conductor mm ²	Resistividad térmica del terreno, K.m/W						
		0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3
Cables directamente enterrados	25	1,25	1,20	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
	35	1,25	1,21	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
	50	1,26	1,26	1,16	1,00	0,89	0,81	0,74
	70	1,27	1,22	1,17	1,00	0,89	0,81	0,74
	95	1,28	1,22	1,18	1,00	0,89	0,80	0,74
	120	1,28	1,22	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	150	1,28	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	185	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	240	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,73
	300	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,80	0,73
	400	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,79	0,73
Cables en interior de tubos enterrados	25	1,12	1,10	1,08	1,00	0,93	0,88	0,83
	35	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,88	0,83
	50	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,83
	70	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
	95	1,14	1,12	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
	120	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	150	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	185	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	240	1,15	1,12	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81
	400	1,16	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81

Tabla 14. Factor de corrección para resistividad térmica del terreno distinta de 1,5 K.m/W

5.1.3.3 Cálculo del factor de corrección por distancia entre ternos.

La acometida subterránea estará compuesta por dos ternas en la misma zanja, enterrados con una separación de 8 cm entre ellos. Sabiendo que los cables van bajo tubo, estimamos un factor de corrección de 0.815 de la tabla correspondiente del RLAT.

Factor de corrección										
Tipo de instalación	Separación de los ternos	Número de ternos de la zanja								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cables directamente enterrados	En contacto (d=0 cm)	0,76	0,65	0,58	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43	0,42
	d = 0,2 m	0,82	0,73	0,68	0,64	0,61	0,59	0,57	0,56	0,55
	d = 0,4 m	0,86	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65
	d = 0,6 m	0,88	0,82	0,79	0,77	0,76	0,74	0,74	0,73	-
	d = 0,8 m	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80	0,79	-	-	-
Cables bajo tubo	En contacto (d=0 cm)	0,80	0,70	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,49
	d = 0,2 m	0,83	0,75	0,70	0,67	0,64	0,62	0,60	0,59	0,58
	d = 0,4 m	0,87	0,80	0,77	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68
	d = 0,6 m	0,89	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	-
	d = 0,8 m	0,90	0,86	0,84	0,82	0,81	-	-	-	-

Tabla 15. Factor de corrección por distancia entre ternos o cables tripolares

5.1.3.4 Cálculo del factor de corrección para profundidades de la instalación distintas a 1 metro.

La instalación será realizada a una profundidad de 60 cm con cables enterrados bajo tubo. Como el cable tendrá una sección superior a 185 mm² tendremos un factor de corrección debido a la profundidad de la acometida de 1,06 según la siguiente tabla obtenida del RLAT.

Profundidad (m)	Cables enterrados de sección		Cables bajo tubo de sección	
	≤ 185 mm ²	> 185 mm ²	≤ 185 mm ²	> 185 mm ²
0,50	1,06	1,09	1,06	1,08
0,60	1,04	1,07	1,04	1,06

0,80	1,02	1,03	1,02	1,03
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,25	0,98	0,98	0,98	0,98
1,50	0,97	0,96	0,97	0,96
1,75	0,96	0,94	0,96	0,95
2,00	0,95	0,93	0,95	0,94
2,50	0,93	0,91	0,93	0,92
3,00	0,92	0,89	0,92	0,91

Tabla 16. Factores de corrección para profundidades de la instalación distintas de 1m

5.1.3.5 Cálculo del factor de pérdidas en pantallas conectadas en ambos extremos.

Las pérdidas en las pantallas son debidas a las corrientes de circulación y a las corrientes de Foucault. Al no existir una regulación estandarizada en el RLAT calculamos estas pérdidas según la norma UNE 21144-1-1 [26].

Calculando las pérdidas de potencia originadas por la pantalla y el previo cálculo del factor λ que detallamos a continuación, podemos obtener la nueva intensidad máxima admisible:

Pérdida de potencia activa:

$$\Delta P = 3 * I^2 * L * R_g * (1 + \lambda)$$

Intensidad máxima admisible teniendo en cuenta pérdidas en pantallas conectadas en ambos extremos:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta P}{3 * L * R_g * (1 + \lambda)}}$$

Donde sabemos que:

ΔP : Pérdida de potencia en W.

λ : Coeficiente de pérdidas en la pantalla.

I: Intensidad por la línea en A.

L: Longitud de la línea.

R_g : Resistencia total calculada en Ω/m .

Coeficiente de pérdidas en la pantalla para una disposición a tresbolillo:

$$\lambda = \frac{R_p}{R_g} * \frac{1}{1 + \left(\frac{R_p}{X_m}\right)^2}$$

Siendo:

R_p : Resistencia de la pantalla por unidad de longitud a temperatura de servicio, 90°C. (Ω/km)

X_m : Reactancia de la pantalla por unidad de longitud. (Ω/km)

R_g : Resistencia total calculada. (Ω)

Estas pérdidas reducen la intensidad máxima admisible ligeramente.

Acorde a dichos cálculos obtenemos un factor de corrección de 0.98 para la intensidad máxima admisible del cable, debido a las pérdidas en las pantallas al conectar en *double point*.

Una vez aplicados estos factores de corrección tenemos que el cable tendrá una intensidad máxima admisible real 321,76 A. Suficiente para soportar sobradamente la corriente presente en la línea que es de 188 A.

Comprobación de la sección del conductor por la caída de tensión

La sección de los conductores a utilizar se determina bajo la condición adoptada de que la caída de tensión entre extremos de la línea sea inferior al 1-3%% de la tensión nominal en el origen de la instalación.

Para garantizar un buen nivel de tensión de suministro, el límite de caída de tensión no solo se aplicará a la condición de carga nominal sino además a la condición de sobrecarga del 50 % de tracción de la subestación. Es decir, esta sección de cable garantizará una caída porcentual de tensión inferior al 1-3 % aún en el caso de una demanda de potencia activa correspondiente a ambos grupos de tracción trabajando al 150 % de carga y servicios auxiliares a plena carga.

Caída de tensión alterna trifásica:

$$e = \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

Porcentaje de caída de tensión:

$$\% \text{ caidadetension} = \frac{e * 100}{V} \%$$

Donde cada una es:

I = Intensidad total en A.

V = Tensión en V.

L = Longitud del conductor (m).

Cos φ = Factor de Potencia

e = Caída de tensión en la línea (V).

R = Resistencia conductor Ω/m .

X = Reactancia conductor (Ω/m).

La línea acometida tendrá una longitud de 990 metros.

Para el cálculo de la resistencia hemos tenido en cuenta el efecto de proximidad y el efecto piel correspondiente. La formulación para el cálculo de la resistencia y la inductancia es la siguiente:

Resistencia R, en Ω y Reactancia X en Ω/m :

$$R' = R_{tcc} * (1 + Y_s + Y_p)$$

$$X' = 2 * \pi * f * L$$

$$L = \left[0,05 + 0,2 * \ln \frac{2 * a_m}{D_c} \right] * 10^{-3}$$

Donde sabemos que:

R_{cc} : Resistencia en corriente continua. Tomada a 20 °C.

Y_s : Incremento de la resistencia debido al efecto piel.

Y_p : Incremento de resistencia debido al efecto proximidad.

f = frecuencia, 50 Hz.

L = Inductancia (H/km)

D_c = Diámetro del alma conductora. 17,48 mm² según fabricante.

a_m = Distancia media entre los conductores. Esta distancia es el diámetro total de los cables. Es de 40,4 mm según hojas de características del cable facilitadas por el fabricante.

Debido a las pantallas se genera una inductancia mutua entre el conductor y las pantallas (M) que afecta al cálculo de la resistencia y reactancia. Vemos como se afecta en la formulación:

$$M = 2 * 10^{-4} * \ln \frac{D}{r_0}$$

$$X_m = 2 * \pi * f * M$$

Siendo:

f = frecuencia, 50 Hz.

D = Distancia entre los ejes de los cables. (m)

r_0 = radio medio de la cubierta metálica. Obtenido según los datos proporcionados por el fabricante. (20,2 mm)

$$R = R' + R_p * \frac{X_m^2}{X_m^2 + R_p^2}$$

$$X = X' - X_m * \frac{X_m^2}{X_m^2 + R_p^2}$$

Tomando los valores de la resistencia en la pantalla (R_p) y la reactancia mutua entre el conductor y la pantalla (X_m) calculamos finalmente la caída de tensión como especificamos anteriormente.

Con base en los cálculos anteriores obtenemos una caída de tensión en la línea de 0,188%.

Caída de tensión dentro de los límites estandarizados de no superar un 1-3 %.

Comprobación de la sección en caso de cortocircuito:

Calculamos la intensidad de cortocircuito que tendremos teniendo en cuenta la intensidad de cortocircuito trifásica de la red facilitada por compañía que es de 21.300 A como dato real y 30.000 A como dato de diseño.

Intensidad de cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} * U_n}$$

Y donde:

S_{cc} = Potencia en cortocircuito. (MVA)

U_n = Tensión de la línea. (V)

En caso de cortocircuito, adoptando fenómeno adiabático y considerando la variación del calor específico del conductor con la temperatura y de la intensidad de defecto con la resistencia (y por tanto con la temperatura), se parte de la siguiente fórmula:

Sección del conductor en mm^2 :

$$S = \frac{I_{cc} * \sqrt{t}}{K * \sqrt{\ln(\beta + T_f) / (\beta + T_i)}}$$

Donde cada una de ellas significan:

K = Coeficiente del material

β = Coeficiente del material.

I_{cc} = Intensidad de cortocircuito (A)

T_f = Temperatura de corto ($^{\circ}\text{C}$)

T = Tiempo de cortocircuito (s)

T_i = Temperatura permanente ($^{\circ}\text{C}$)

Para nuestro tipo de cable la temperatura de servicio es de 105 °C y de 250 °C en caso de cortocircuito. En cuanto los coeficientes dependientes del material:

Aluminio: $\beta = 228$ y $K = 148$

Cobre: $\beta = 235$ y $K = 226$

Aplicando estas fórmulas, aplicadas directamente de la norma UNE 21144-1-1 y considerando una intensidad de cortocircuito de 30 kA durante 0,5 seg se obtiene una sección mínima para soportar este cortocircuito para los cables de aluminio:

$$S_{Al \min} = 186,5 \text{ mm}^2$$

Por tanto observamos que la sección de 240 mm² de aluminio que habíamos considerado como solución para la acometida eléctrica que alimente a la subestación de tracción del presente proyecto, es perfectamente válida.

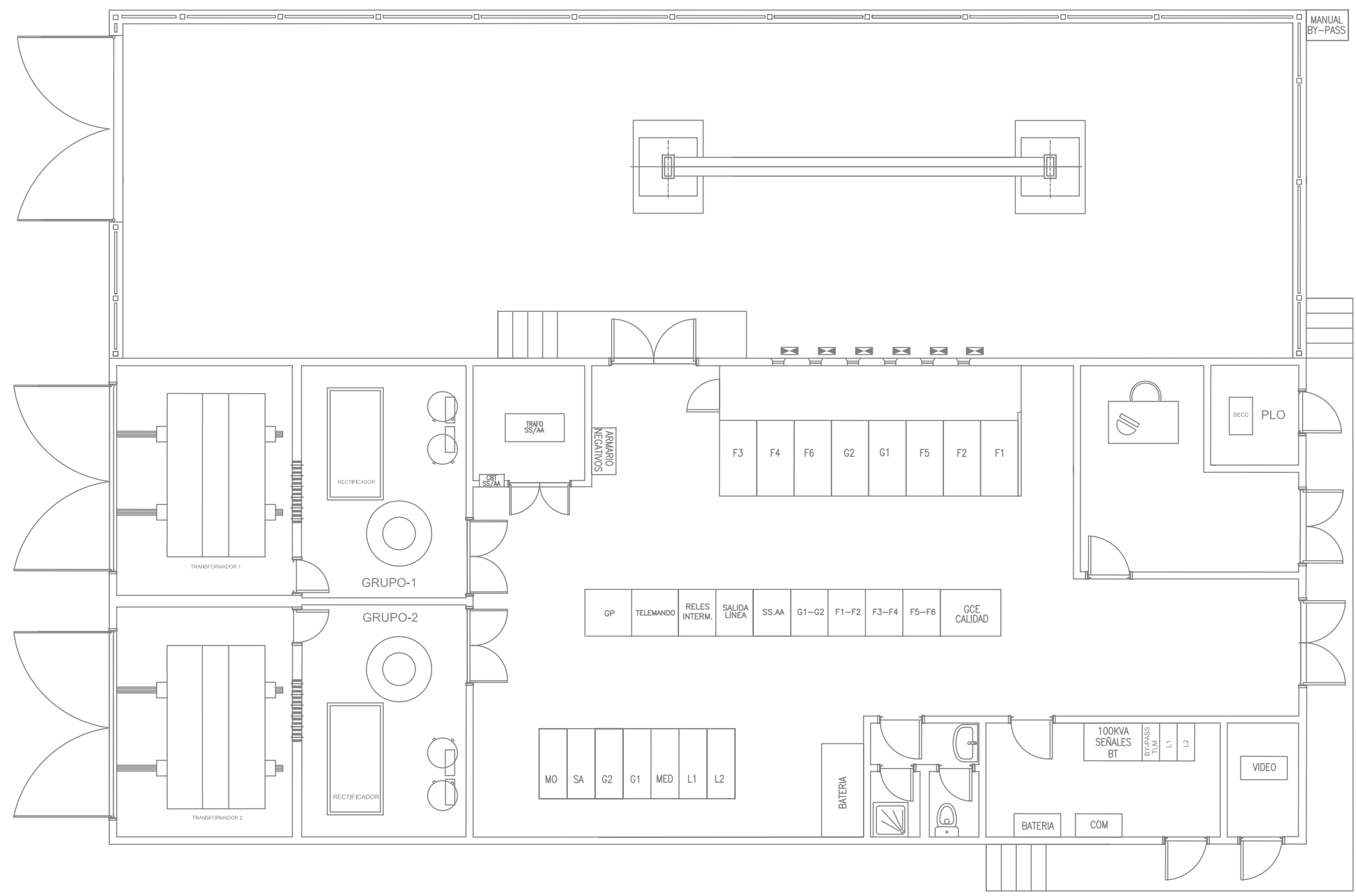


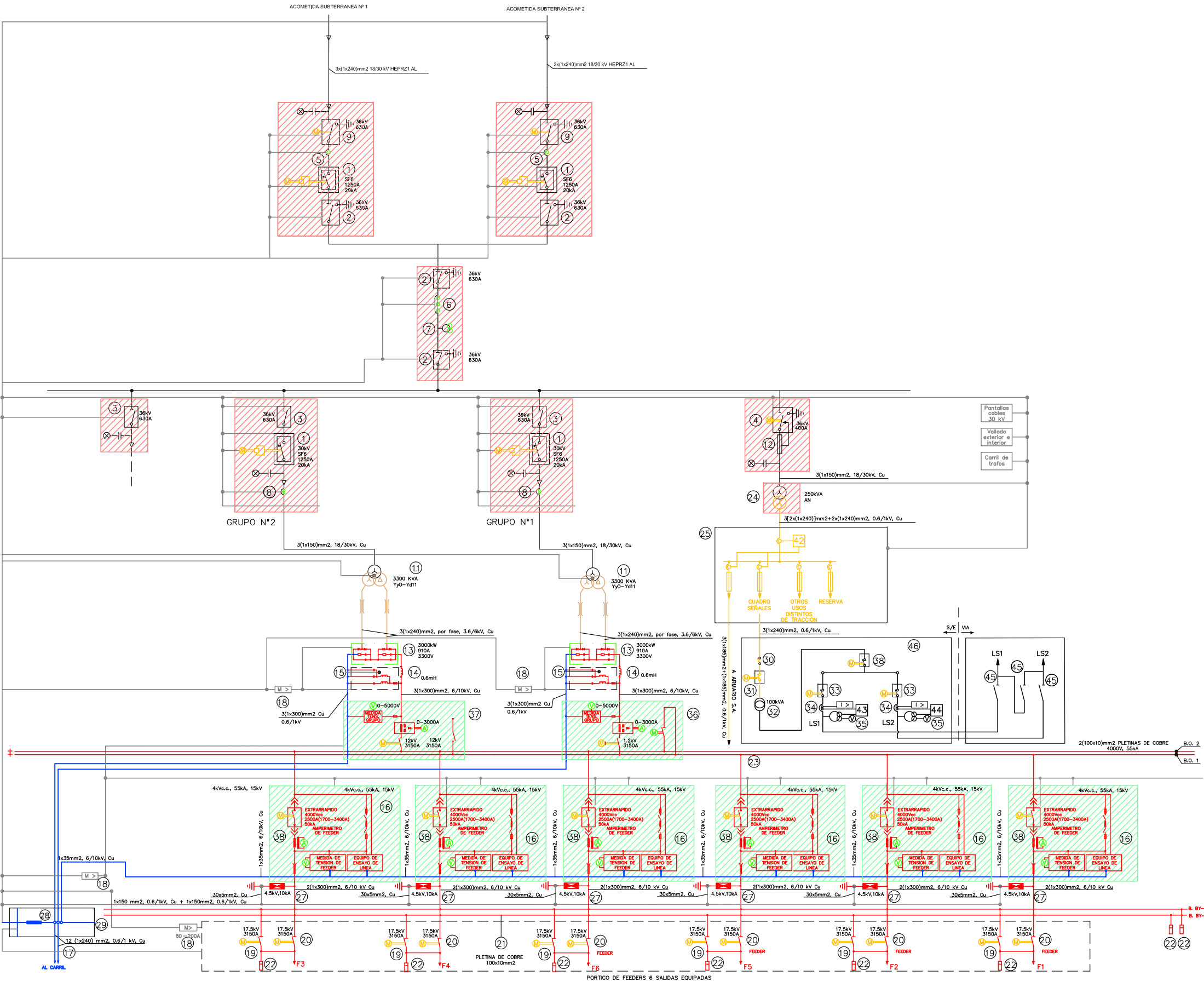
Universidad
Carlos III de Madrid

PROYECTO FINAL DE CARRERA
Ingeniería Industrial Superior,
Febrero 2016

DOCUMENTO Nº3

PLANOS





Nº	DESCRIPCIÓN
1	DISYUNTOR TRIPOLAR AUTOMÁTICO SF6, 36 kV, 1250 A, 20 kA
2	SECCIONADOR TRIPOLAR 36 kV, 630 A, MANUAL CON TRES POSICIONES
3	SECCIONADOR TRIPOLAR 36 kV, 630 A PARA GRUPOS Y MÓVIL. ACCIONAMIENTO MANUAL
4	SECCIONADOR TRIPOLAR 36 kV, 400 A PARA SERVICIOS AUXILIARES. TELEMANDADO CON TRES POSICIONES
5	TRANSFORMADOR INTENSIDAD PROTECCION LÍNEA, 100-200/5 A, 30 VA, 5P20
6	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD MEDIDA 100-200/5-5 A, 15 VA d 0.2s, 15 VA d 0.2s, 15 VA d 0.5
7	TRAFOS DE TENSION MEDIDA 3000/3110T3-110T3, d 0.2 50 VA, d 0.5 50 VA
8	TRANSFORMADOR INTENSIDAD PROT. GRUPO, 100-200/5-5 A, 30 VA 5P20, 30 VA 5P20
9	SECCIONADOR TRIPOLAR TELEMANDADO, 36 kV, 630 A, CON TRES POSICIONES
10	PROTECCION DE SOBREENTENSIDAD DE LÍNEA
11	TRANSFORMADOR DE POTENCIA, 3300 kVA, 30000±3.5%, ±7%/1300-1300V
12	BASES PORTAFUSIBLES CON SU FUSIBLE DE PROTECCION A.P.R. 12 A
13	RECTIFICADOR DE POTENCIA 3000 kW, 910 A, 3300 V, 48 DIODOS, NP-1
14	BOBINA AMORTIGUAMIENTO 0.6 mH
15	EQUIPO FILTRADO ARMONICOS 600 Hz y 1200 HZ.
16	CELDA DE FEEDER
17	ARQUETA DISTRIBUCION NEGATIVO JUNTO A CARRIL
18	RELE DE MASA 80 200 A
19	SECCIONADOR BY-PASS 17.5 kV, 3150 A, MOTORIZADO
20	SECCIONADOR FEEDER 17.5 kV, 3150 A, MOTORIZADO
21	BARRAS BY-PASS 100x10mm2, PLETINA DE COBRE
22	DETECTOR DE TENSION
23	BARRAS OMNIBUS
24	TRANSFORMADOR SERVICIOS AUXILIARES 250 kVA, Yzn11, 30000±3.5%, ±7%/220-133 V Ucc=6% SERIE 36kV, AN
25	CUADRO DISTRIBUCION Y PROTECCION B.T.-SERVICIOS AUXILIARES
26	RELE DE FALTA A TIERRA DE CUBA
27	AUTOVALVULAS CORRIENTE CONTINUA 4.5 kV, 10 kA
28	TRANSDUCTOR DE INTENSIDAD Ir=500-1500 A
29	ARMARIO DE NEGATIVOS
30	SECCIONADOR TRIPOLAR 3X220 V, 630 A EQUIPADO CON FUSIBLES DE A.P.R. Y MANDO MANUAL
31	INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO 3X220 V, 630 A CON MANDO ELECTRIC
32	TRANSFORMADOR TRIMONOFASICO 3X220/2X2200 V, 100 kVA, AN
33	INTERRUPTOR SECCIONADOR 12 kV, 630 A CON MANDO ELECTRIC
34	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD 34/5-5 A, 15 VA, 10P10, 15 VA, d 0.5, 12 kV
35	TRANSFORMADOR DE TENSION 2200/110-110 V, 15 VA, d 0.5, 15 VA d 0.5
36	CELDA SECCIONADOR DE GRUPO 1 Y BB. OO.
37	CELDA DE SECCIONADOR DE GRUPO 2 Y S/E MÓVIL
38	EXTRARRÁPIDO 50 kA
39	ANALIZADOR DE CALIDAD Y REGISTRO DE ENERGÍA Y FALLAS
40	ANALIZADOR DE CALIDAD EN CATENARIA Y REGISTRO DE ENERGÍA Y FALLAS EN GRUPO RECTIFICADOR 1
41	ANALIZADOR DE CALIDAD EN CATENARIA Y REGISTRO DE ENERGÍA Y FALLAS EN GRUPO RECTIFICADOR 2
42	ANALIZADOR DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE SERVICIOS AUXILIARES
43	ANALIZADOR DE ENERGÍA EN LÍNEA DE SEÑALES 1
44	ANALIZADOR DE ENERGÍA EN LÍNEA DE SEÑALES 2
45	INTERRUPTOR SECCIONADOR BIPOLAR, 3.6 kV, 200 A, MANDO MANUAL
46	CABINA DE SEÑALES

LEYENDA	
	ALTERNA 30 kV
	NEGATIVO
	POSITIVO 3300 Vcc
	BAJA TENSION 220 V
	1300 V ALTERNA
	2200 V ALTERNA
	CELDA AISLAMIENTO INTEGRAL SF6 36kV
	CELDA METÁLICA 3300 V.c.c.

PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA INDUSTRIAL SUPERIOR

TÍTULO:
DISEÑO DE LA PARTE ELÉCTRICA DE UNA
SUBESTACION ELÉCTRICA DE TRACCIÓN
PARA LÍNEAS CONVENCIONALES

AUTOR DEL PROYECTO:

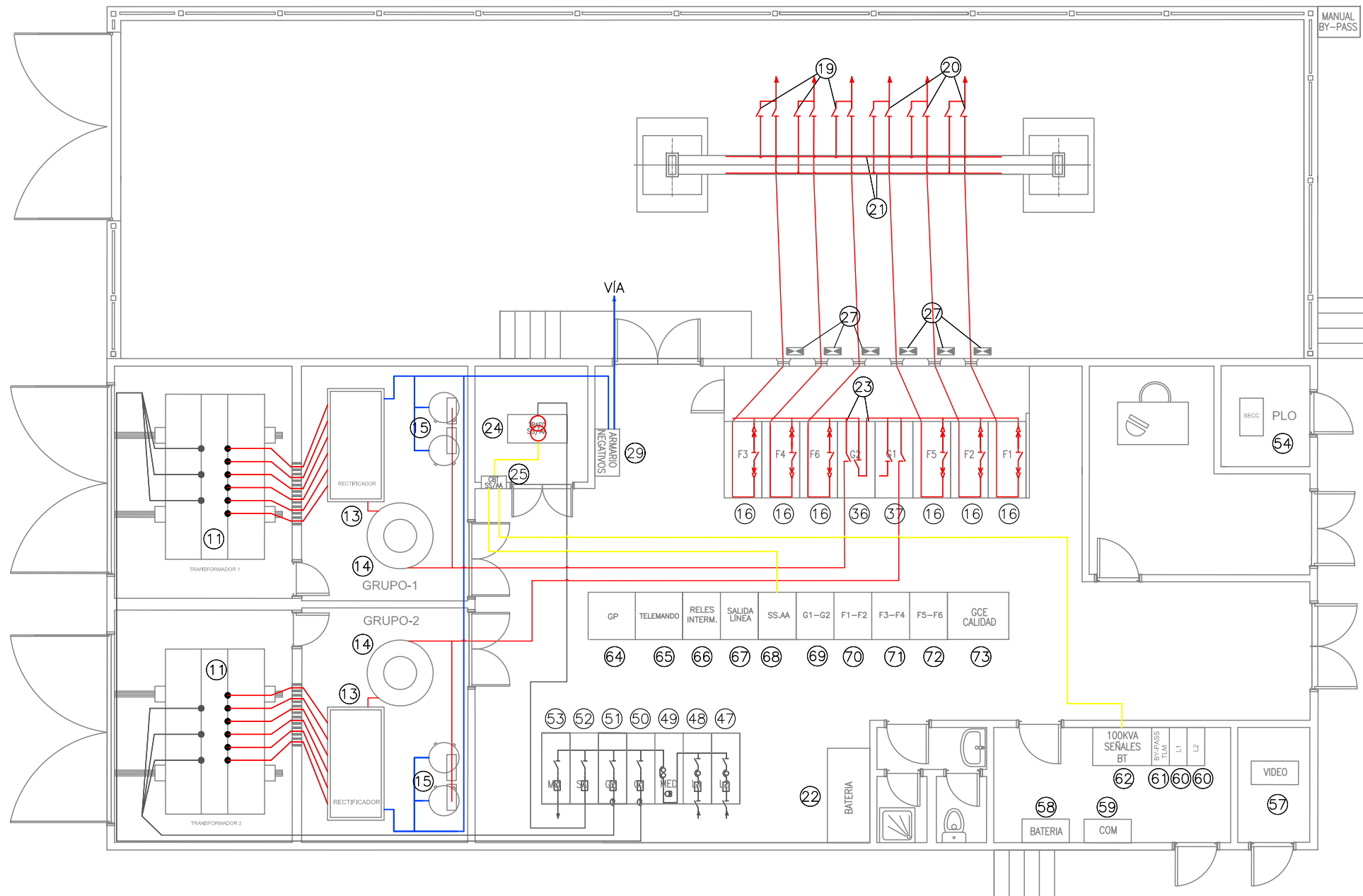
DAVID AGUADO GARCÍA

ESCALA ORIGINAL:
S/E
GRÁFICA

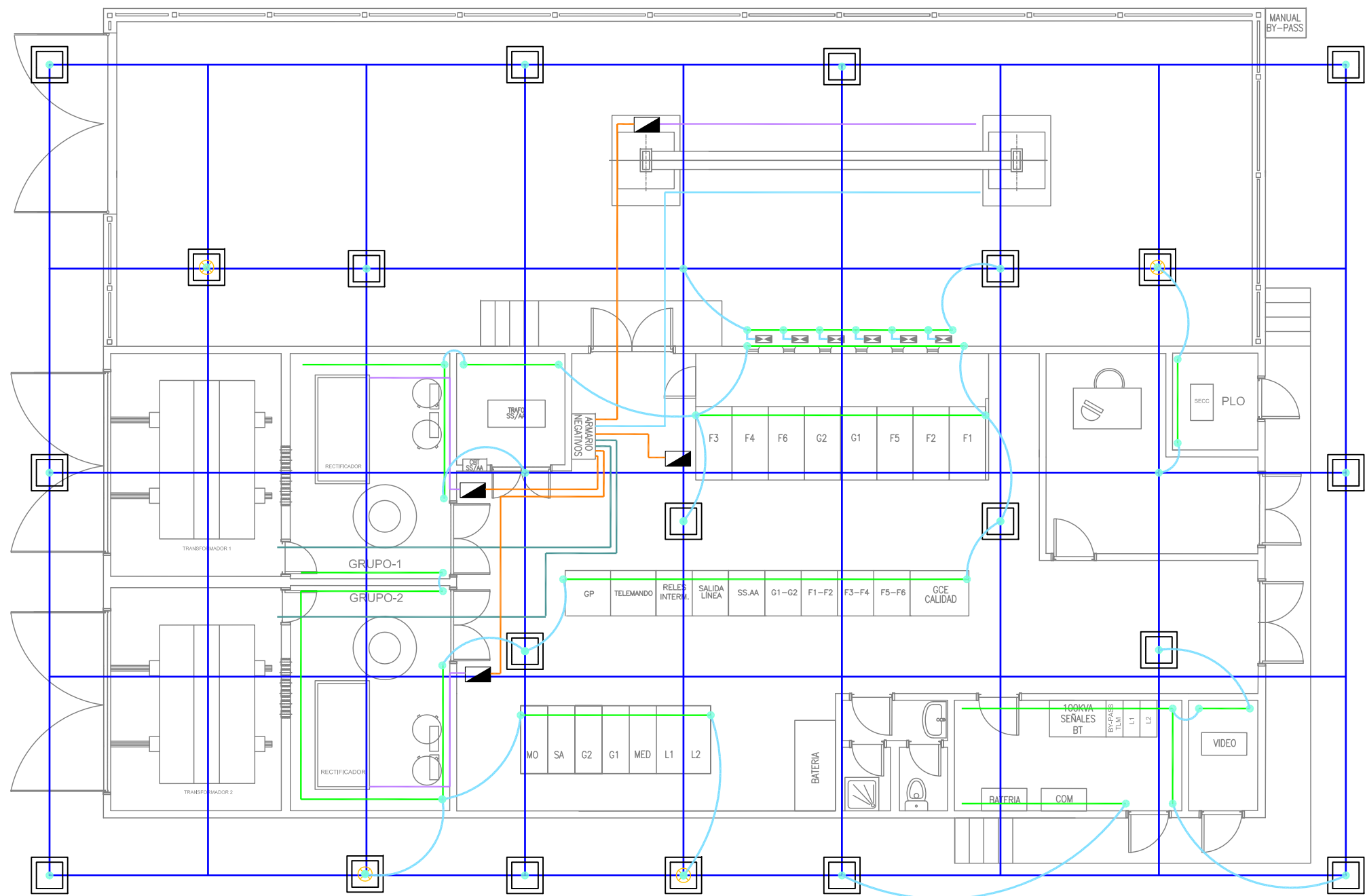
FECHA
FEBRERO 2016

Nº DE PLANO
01
HOJA 01 DE 01

TÍTULO DEL PLANO
INSTALACIONES ELÉCTRICAS
ESQUEMA UNIFILAR



Nº	DESCRIPCIÓN	Nº	DESCRIPCIÓN	Nº	DESCRIPCIÓN
11	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 3300KVA, yYO-yd11 Ucc=10% AN SERIE 30 KV	37	CELDA DE C.C. SECCIONADOR DE GRUPO 2 Y MÓVIL	63	CABINA BY-PASS MANUAL
13	RECTIFICADOR DE POTENCIA 3000kW	47	CELDA 36KV SF6 LLEGADA DE LÍNEA 1	64	PANEL DE CENTRALIZACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE LA ENERGÍA
14	BOBINA DE ALISAMIENTO 0.6mH	48	CELDA 36KV SF6 LLEGADA DE LÍNEA 2	65	ARMARIO DE CONTROL DE FEEDER 5 Y FEEDER 6
15	EQUIPO DE FILTRADO 600 Hz Y 1200Hz	49	CELDA 36KV SF6 MEDIDA	66	ARMARIO DE CONTROL DE FEEDER 3 Y FEEDER 4
16	CELDA DE C.C. CON DISYUNTOR EXTRARRÁPIDO EXTRAIBLE (SALIDA DE FEEDER)	50	CELDA 36KV SF6 GRUPO 1	67	ARMARIO DE CONTROL DE FEEDER 1 Y FEEDER 2
18	RELE DE MASA 80 200A	51	CELDA 36KV SF6 GRUPO 2	68	ARMARIO DE CONTROL DE GRUPOS 1 Y 2
19	SECCIONADOR BY-PASS 17.5kV, 3150A MOTORIZADO	52	CELDA 36KV SF6 SS AA	69	ARMARIO DE CONTROL DE SERVICIOS AUXILIARES
20	SECCIONADOR FEEDER 17.5 kV, 3150A MOTORIZADO	53	CELDA 36KV SF6 MÓVIL	70	ARMARIO DE LÍNEAS DE ENTRADA Y SALIDA
21	BARRAS DE BY-PASS DEL PÓRTICO DE FEEDER	54	PUESTO SATELITE Y MANDO LOCAL DE LOS SECCIONADORES DE CATENARIA	71	ARMARIO DE DE RELES INTERMEDIOS
22	ARMARIO DE BATERÍAS	55	EQUIPO CARGADOR BATERÍA 200 A.H.	72	ARMARIO DE TELEMANDO
23	BARRAS OMNIBUS	56	EQUIPO-CARGADOR BATERÍA 40 A.H.	73	GESTOR DE PROTECCIONES
24	TRANSFORMADOR SERVICIOS AUXILIARES 250 kVA, Yzn11, 30000±3.5%, 27kV/220-135 V Ucc=6% SERIE 30 KV, AN	57	EQUIPO DE VIDEO		
25	CUADRO DE DISTRIBUCIÓN Y PROTECCIÓN B.T.	58	REPARTIDOR DE COMUNICACIONES		
27	AUTOVÁLVULA C.C. 4.5kV, 10kA	59	CABINA DE SALIDA DE LÍNEA MONOFÁSICA DE SEÑALES		
29	ARMARIO DE NEGATIVOS	60	CABINA BY-PASS TELEMANDADO		
36	CELDA DE C.C. SECCIONADOR DE GRUPO 1 Y UNION DE B.O.	62	CABINA DE LLEGADA B.T. Y TRANSFORMADOR 100 KVA PARA LÍNEA DE SEÑALES		



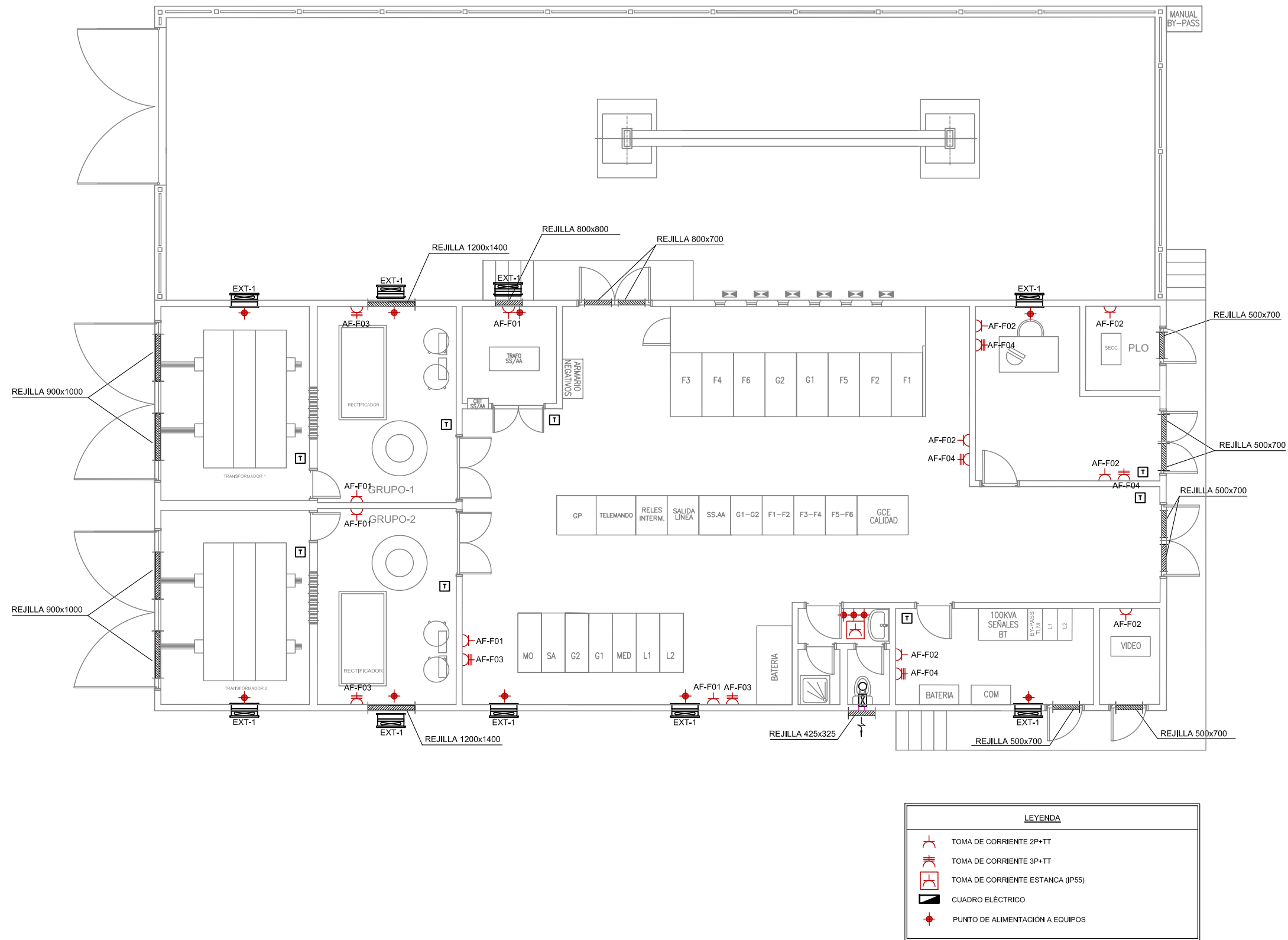
LEYENDA	
	PLETINA 30x10 AISLADA MASAS
	CONDUCTOR AISLADO 300 mm2 CU 0,6/1KV
	PLETINA 30x5 TIERRA mm2 CU
	CONDUCTOR DESNUDO 150 mm2 CU
	CARRIL 45 Kg/m
	PUNTO UNIÓN
	CONDUCTOR AISLADO 150 mm2 CU 0,6/1KV
	RELÉ DE MASA

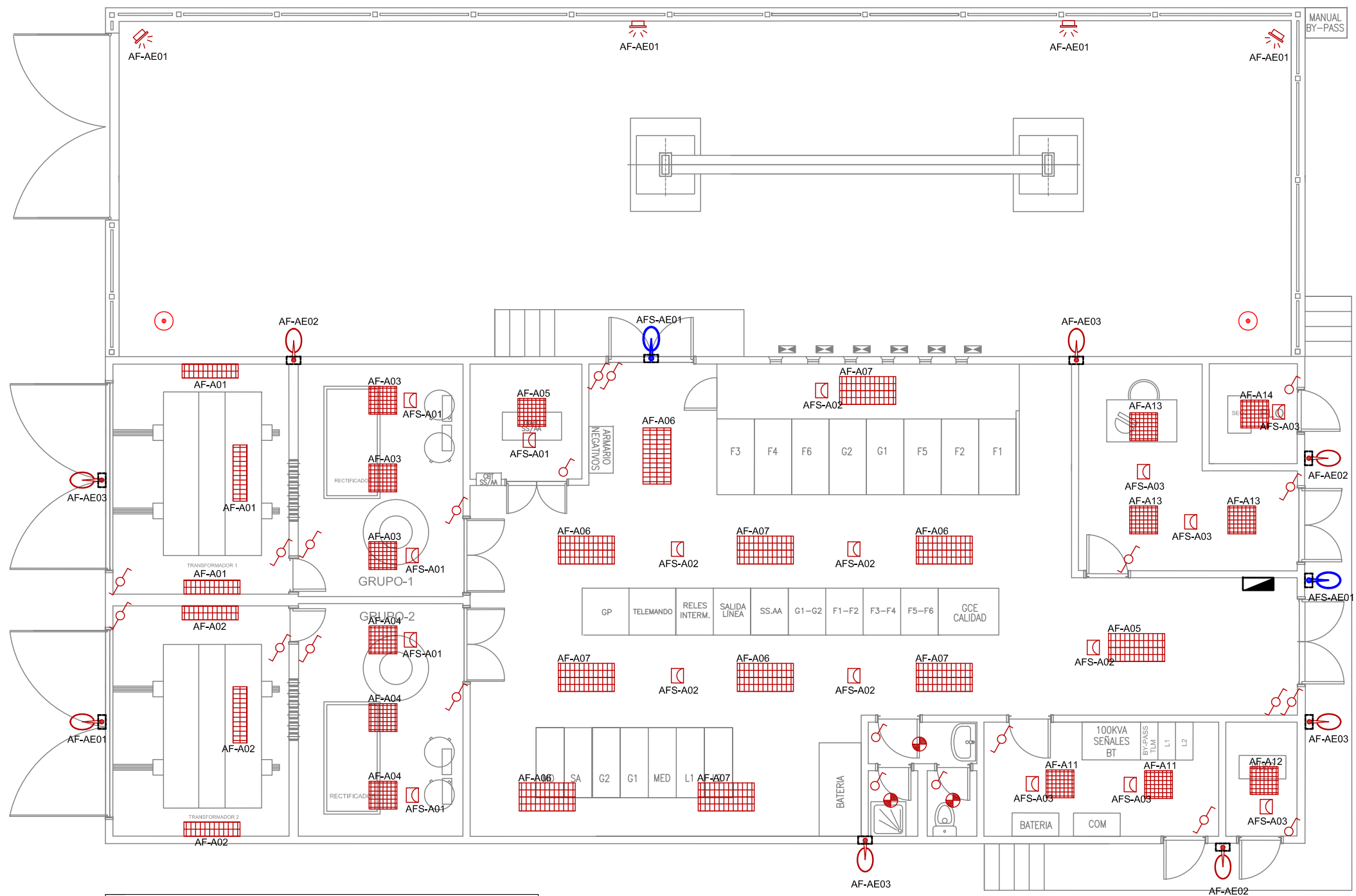


PICA EN ARQUETA REGISTRABLE
DE 0.80x0.80 m A 2,5 m de PROFUNDIDAD



ANODO ZINC EN ARQUETA REGISTRABLE
DE 0.80X0.80 m A 2.5 m DE PROFUNDIDAD





LEYENDA ILUMINACIÓN INTERIOR	
	LUMINARIA EMPOTRAR EN FALSO TECHO 2 X 56W TLB
	LUMINARIA IP40 DE ADOSAR 4X32W TLB
	LUMINARIA DE EMPOTRAR EN FALSO TECHO 4X18W TLB
	LUMINARIA DE EMPOTRAR PL11W DE FUNCIONAMIENTO EN C. CONTINUA
	DOWNLIGHT DE ADOSAR 2X32 W
	INTERRUPTOR SIMPLE
	INTERRUPTOR CONMUTADO
	CUADRO ELÉCTRICO

LEYENDA ILUMINACIÓN EXTERIOR	
	PROYECTORES DE 250W
	BRAZO DE FIJACIÓN MURAL PARA LUMINARIA 100W VSAP
	BRAZO DE FIJACIÓN MURAL PARA LUMINARIA DE SOCORRO 100W
	CONEXIÓN A MALLA GENERAL DE RED DE TIERRAS Y MASAS



Universidad
Carlos III de Madrid

PROYECTO FINAL DE CARRERA
Ingeniería Industrial Superior,
Julio 2015

DOCUMENTO N°3 PRESUPUESTO



Referencia	Descripción	Nº unidades	€/unidad	TOTAL (€)
Capítulo 1.1	MOVIMIENTOS DE TIERRA	1	17.000	17.000
Capítulo 1.2	CIMENTACIONES	1	327.000	327.000
Capítulo 1.3	CANALIZACIONES ELÉCTRICAS	1	20.000	20.000
Capítulo 1.4	EDIFICACIÓN			
Capítulo 1.5	INSTALACIONES MECÁNICAS	1	26.000	26.000
Capítulo 1.6	INSTALACIONES ELÉCTRICAS			
Capítulo 1.6.1	Cuadros de distribución Suministro, colocación y conexionado del cuadro de alumbrado y fuerza	1	4.500	4.500
Capítulo 1.6.2	Conductores de baja tensión Suministro, tendido y conexionado de los cables necesarios de baja tensión	1	6.000	6.000
Capítulo 1.6.3	Instalación de alumbrado y fuerza <u>Alumbrado interior</u> Suministro y montaje de luminaria de superficie estanca de 2x56W	6	130	780
	Suministro y montaje de luminaria para adosar en falso techo de 4x32W	11	450	4.950
	Suministro y montaje de luminaria para adosar en falso techo de 4x18W	14	250	3.500
	Suministro y montaje de luminaria tipo downlight para aseo de 2x32W	3	175	525
	Suministro y montaje de luminarias de de socorro para empotrar en falso techo de 11W	17	50	850

TOTAL Alumbrado interior **10.605**

Alumbrado exterior

Suministro y montaje de punto de luz compuesto por un proyecto de 250W	4	550	2.200
--	---	-----	-------

Suministro y montaje de punto de luz compuesto por brazo de fijación mural y luminaria de 100W	8	800	6.400
--	---	-----	-------

TOTAL Alumbrado exterior **8.600**

Alumbrado de emergencia

Suministro y montaje de luminaria de emergencia autónoma con autonomía de 1 hora, 100 lumenes	6	100	600
---	---	-----	-----

Suministro y montaje de luminaria de emergencia autónoma con autonomía de 1 hora, 220 lumenes	9	120	1.080
---	---	-----	-------

Suministro y montaje de luminaria de emergencia autónoma con autonomía de 1 hora, 583 lumenes	5	140	700
---	---	-----	-----

TOTAL Alumbrado de emergencia **2.380**

Mecanismos

Interruptores, conmutadores, bases de enchufe bifásicas y trifásicas, etc...	1	1000	1.000
--	---	------	-------

<u>Canalizaciones servicios auxiliares</u>	1	800	800
--	---	-----	-----

TOTAL Instalación de alumbrado y fuerza **23.385**

TOTAL INSTALACIONES ELÉCTRICAS **78.855**

Capítulo 1.7	ARQUITECTURA Y ESTRUCTURA	1	218000	218.000
	Estructura del edificio prefabricado, cerramientos, cubiertas, albañilería, carpintería, revestimientos, falsos techos, pavimentos y accesos			

Capítulo 1.8	ESTRUCTURAS METÁLICAS	1	37000	37.000
Capítulo 1.9	EQUIPOS Y APARAMENTA ELÉCTRICA			
Capítulo 1.9.1	Llegada de línea			
	Suministro y montaje de una cabina blindada aislada en SF6 para protección general de llegada de línea, 36 kV	2	22000	44.000
	Suministro y montaje de un enclavamiento mecánico para llegada línea	2	600	1.200
	<i>TOTAL Llegada de línea</i>			45.200
Capítulo 1.9.2	Equipos de medida y control de energía A.T.			
	Suministro y montaje de una cabina blindada aislada en SF6 para medida de energía con remonte, 36 kV	1	21000	21.000
	Suministro y montaje de un enclavamiento mecánico para equipo de medida y control	1	850	850
	<i>TOTAL Equipos de medida y control A.T.</i>			21.850
Capítulo 1.9.3	Grupos de tracción			
	Suministro y montaje de una cabina blindada aislada en SF6 para protección grupo a 36 kV	2	22000	44.000
	Sumistro y montaje de un transformador de potencia seco de 3.300 kVA y tensión primera de 30kV	2	110000	220.000
	Suministro y montaje de un rectificador de potencia 3.000 kW con tensión nominal de 3.300 V	2	65000	130.000
	Suministro y montaje de una bobina de aislamiento para grupo de tracción de 6.000 kW	2	20000	40.000



Suministro y montaje de las resistencias de descarga del filtro de armónicos, los condensadores, bobina para acoplar al filtro de armónicos, portafusibles y fusibles	1	21000	21.000
<u>Armario de negativos</u>			
Suministro, montaje y conexiones del armario de negativos	1	3500	3.500
<u>Protecciones</u>			
Suministro y montaje de un enclavamiento mecánico de seccionadores de C.C. y BB/OO	1	1000	1.000
Suministro y montaje de un enclavamiento mecánico para grupo de tracción	2	700	1.400
<u>Celda de seccionadora de grupo 1 y BB/OO</u>			
Suministro y montaje de una cabina para seccionador de grupo más acoplamiento de BB/OO	1	18000	18.000
<u>Celda de seccionador de grupo 2</u>			
Suministro y montaje de una cabina para seccionador de grupo	1	16000	16.000
<u>TOTAL Grupos de tracción</u>			494.900

Capítulo 1.9.4 **Salidas de Feeder**

<u>Salidas de Feeder parte interior</u>			
Suministro y montaje de una cabina extraíble para salida de feeder C.C. equipada con control	6	40000	240.000
Suministro y montaje de un enclavamiento mecánico para salidas de feeder			
	6	175	1.050
<u>Salidas de feeder parte exterior</u>			
Suministro y montaje de seccionador exterior para salida de feeder o by-pass	12	950	11.400
Suministro y montaje de accionamiento	12	2000	24.000

eléctrico de par nominal para seccionador A.T.

Suministro y montaje de una transmisión para seccionador de alta tensión de apertura vertical en exterior	12	700	8.400
---	----	-----	-------

Suministro y montaje de autoválvulas pararrayos exterior para la protección de feeder	6	600	3.600
---	---	-----	-------

<u>Telemando seccionador de feeders</u>	1	30000	30.000
---	---	-------	--------

<i>TOTAL Salida de Feeder</i>			318.450
--------------------------------------	--	--	----------------

Capítulo 1.9.5 **Servicios Auxiliares**

Servicios auxiliares en A.T., CA

Suministro y montaje de una cabina aislada en SF6 para protección del transformador de servicios auxiliares, 36 kV	1	17000	17.000
--	---	-------	--------

Suministro y montaje de un transformador de servicios auxiliares con aislamiento seco de 250 kVA y tensión primaria de 30 kV	1	9000	9.000
--	---	------	-------

Suministro y montaje de un enclavamiento mecánico para servicios auxiliares	1	850	850
---	---	-----	-----

Servicios auxiliares en B.T., CA

Cuadro general de baja tensión para las salidas de baja tensión del transformador de SSAA	1	2900	2.900
---	---	------	-------

Servicios auxiliares en B.T., CC

Suministro y montaje de un equipo de baterías y doble cargador rectificador de baterías, 220V	1	20200	20.200
---	---	-------	--------

Suministro y montaje de un convertidor de tensión 120/24V con potencia 250 kVA	1	500	500
--	---	-----	-----

<i>TOTAL Servicios auxiliares</i>			50.450
--	--	--	---------------

Capítulo 1.9.6 **Equipo alimentación de línea de señales**

Suministro y montaje de una cabina metálica de potencia de llegada de baja tensión y transformación para línea de señales	1	18500	18.500
Suministro y montaje de una cabina metálica de salida de línea monofásica de señales	2	8500	17.000
Suministro y montaje de una cabina metálica de by-pass telemandado para línea de señales	1	7200	7.200
Suministro y montaje de centro de seccionamiento para dos líneas con by-pass de 3kV	1		4.500
Suministro y montaje de un equipo eléctrico automático de medida y control	1	3000	3.000
Suministro y montaje de cable aislado para las líneas de señales	1	5000	5.000
Suministro y montaje de un enclavamiento mecánico para la línea de señales	1	880	880
<i>TOTAL Equipo de alimentación de señales</i>			56.080

Capítulo 1.9.7 **Equipo de alimentación de SE Móvil**

Suministro y montaje de una cabina o conjunto de cabinas para alimentación de la posible SE Móvil , 36 kV	1	15800	15.800
<i>TOTAL EQUIPOS Y APARAMENTA ELÉCTRICA</i>			1.002.730

Capítulo 1.10 **CABLES, CONDUCTORES Y EMBARRADOS**

Suministro y montaje de aisladores, embarrados, cables, pasamuros, conexiones, materiales de fijación, acometidas a las celdas, carril, acometida a servicios auxiliares...	1	90000	90.000
---	---	-------	--------

Capítulo 1.11 MANDO, CONTROL Y PROTECCIÓN

Capítulo 1.11.1 Mando y control

Suministro y montaje de armario y panel de mando y control para dos llegadas de línea, provisto de la aparamenta necesaria para realizar el mando y control	1	17300	17.300
Suministro de armario y panel de mando y control para una medida y/o control	1	7100	7.100
Suministro y montaje de panel de mando y control para dos grupos de tracción	1	12800	12.800
Suministro y montaje de panel de mando y control para dos salidas de feeder	3	10300	30.900
Suministro y montaje de panel de mando y control para un servicio auxiliar	1	10500	10.500
Suministro y montaje de un panel de relés intermedios de telemando para el control de una llegada de líneas, dos grupos rectificadores, servicios auxiliares, seis salidas de feeder, etc...	1	9900	9.900
Suministro y montaje de armario de mando y control de servicios auxiliares	1	11700	11.700
Suministro de telemando para la subestación, y la implementación necesaria para realizar el puesto central de telemando	1	52100	52.100
<i>TOTAL mando, control y protecciones</i>			152.300

Capítulo 1.11.2 Conexión entre aparatos

Suministro y conexionado de los equipos	1	47500	47.500
---	---	-------	--------

Capítulo 1.11.3 Equipos de protecciones

Suministro y montaje de un armario de protecciones preparado de un gestor de protecciones de 6 salidas	1	8600	8.600
Suministro de gestor de protecciones para seis salidas feeder con módulos de lógica	1	18400	18.400
Suministro y montaje de equipos de comunicaciones entre subestaciones para dos colaterales y hasta cuatro vías por colateral	1	9300	9.300
TOTAL Equipo de protecciones			36.300

Capítulo 1.11.4 **Control de la calidad de energía**

Suministro y montaje de equipos de medida e instrumentación para la calidad de energía	1	70600	70.600
TOTAL MANDO, CONTROL Y PROTECCIÓN			306.700

Capítulo 1.12 **RED DE TIERRAS Y MASAS**

Capítulo 1.12.1 **Red de tierras**

Suministro y montaje de carril tipo RENFE de 45 kg/m, en red enterrada de puesta a tierra	1	6000	6.000
Suministro y montaje de pica de tierra, acero-cobre de 300 micras, de 2,5 metros de longitud	16	34	544
Suministro y montaje de un ánodo de Zinc para la red de tierra.	4	70	280
Suministro y tendido de cableado necesario para la continuidad de la red de tierras	1	2400	2.400
Suministro y montaje de pletina de cobre montada en estructuras para conexión a red de tierras	1	2400	2.400

Suministro y montaje de trencillas de cobre para la continuidad de la red de tierras	1	2700	2.700
--	---	------	-------

Suministro de grapa para conexión de pica y cable de cobre	1	890	890
--	---	-----	-----

TOTAL Red de tierras			15.214
-----------------------------	--	--	---------------

Capítulo 1.12.2 **Red de masas**

Suministro y montaje de un relé de protección contra defectos de masa	4	1400	5.600
---	---	------	-------

Suministro de de conductores para el circuito de negativo y pletinas de cobre	1	7200	7.200
---	---	------	-------

TOTAL Red de masas			12.800
---------------------------	--	--	---------------

Capítulo 1.12.3 **Medida de tensiones de paso y contacto**

Medida de tensiones de paso y contacto	1	5400	5.400
--	---	------	-------

TOTAL Red de tierras y masas			33.414
-------------------------------------	--	--	---------------

ESTIMACIÓN DE LOS COSTES

Estimación de ejecución material	2.156.699,00 €
---	-----------------------

6% costes indirectos	129.401,94 €
----------------------	--------------

Estimación de ejecución material con costes indirectos incluidos	2.286.100,94 €
--	-----------------------

15% de beneficio industrial	342.915,14 €
-----------------------------	--------------

Estimación presupuesto (sin IVA)	2.629.016,08 €
---	-----------------------





Universidad
Carlos III de Madrid

PROYECTO FINAL DE CARRERA
Ingeniería Industrial Superior,
Febrero 2016

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Adaptación Apuntes Electrificación Ferroviaria. Universidad de Comillas.
- [2] IP3. Picas de Zinc ensacadas. www.guldager.es/index.php/productos
- [3] EIROS. Prefabricados de hormigón. Catálogo 2012. www.eiros.com
- [4] PHILIPS. Marzo 2014 – España. Philips Ibérica. “Tarifa Alumbrado Profesional”.
- [5] Consejos y trucos. <http://www.dial.de/DIAL/es/dialux/>
- [6] Código Técnico de la Edificación.
- [7] REAL DECRETO 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- [8] REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales
- [9] Tecnología de catenaria. Instalaciones ferroviarias de Renfe. Jesús Montesinos y Manuel Carmona.
- [10] SCHNEIDER ELECTRIC. Instituto Schneider Electric de Formación. Catálogo 2010-2011 – “Equipos didácticos de Media Tensión”.
- [11] SCHNEIDER ELECTRIC. Catálogo 109. “Distribución Eléctrica de Media Tensión” y “Centro de Transformación 36kV MT/BT”..
- [12] ABB. Equipos de Media Tensión y Alta tensión. www.abb.com
- [13] Gama de productos de corriente continua. ZIGOR. www.zigor.com
- [14] Rectificadores y cargadores de baterías. GRUPO TEMI. Características generales.
- [15] Diseño de sistema eléctricos. Enriquez Harpet.
- [16] ANSALDO INDUSTRIA. Grupo IRI. IR 6000. “High-Speed DC Circuit Breaker”
ANSALDO INDUSTRIA. Grupo IRI. Diaclad, “Direct Current Metal Clad Switchgear”
- [17] Transformadores de potencia, medida y protección. MARCOMBO. Enrique Oliva.
- [18] REAL DECRETO 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- [19] REAL DECCRETO 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. ITC-BT.

- [20] REAL DECRETO 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- [21] REAL DECRETO 3275/1982 sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- [22] Transformador de distribución encapsulado seco de Media Tensión. Schneider Electric. <http://www.schneider-electric.cl>
- [23] Rectificadores de potencia. Catálogo de productos Schneider Electric.
- [24] Transformador de potencia tipo seco encapsulado al vacío. ABB. www.abb.com
- [25] PRYSMIAN. Catálogo general. “Cables y accesorios de baja tensión”
PRYSMIAN. Catálogo general. “Cables y accesorios de media tensión”
- [26] UNE 21144. NORMA ESPAÑOLA. Cables eléctricos. “Cálculo de la intensidad admisible. Ecuaciones de intensidad admisible y cálculo de pérdidas”.
- [27] IEEE 80 2013 Puesta a tierra Subestaciones
- [28] Reglamento y normativa MIE-RAT.
- [29] R.I.T.E., Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE. RD 1027/2007 de 20 de Julio de 2007.
- [30] Norma UNE-EN 13779 Ventilación de edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de los locales para uso no doméstico.
- [31] Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. (Decreto 842/2.002 del 2 de agosto e Instrucciones Complementarias).
- [32] UNE 20460. Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 5: Selección e instalación de los materiales eléctricos
- [33] UNE 12464. “Iluminación de los lugares de trabajo en interior”
- [34] Ayuda y manual del software de cálculo luminotécnico DIALUX.
- [35] Documentos asociados al Código Técnico de Edificación.

A esta documentación y normativa hay que añadir las ya citadas a lo largo del presente proyecto, y la documentación interna de la empresa donde he estado trabajando durante un periodo de tiempo mayor a 9 meses, desarrollando tareas relacionadas con el suministro eléctrico y diseño de subestaciones eléctricas de tracción.



CONCLUSIONES

La construcción de una subestación eléctrica de tracción rectificadora para líneas convencionales alimentadas en corriente continua requiere una serie de equipos, sistemas y particulares determinadas. No obstante, la subestación eléctrica de tracción diseñada está formada mayoritariamente por su edificio de control, por lo que parte de los cálculos y diseño que se han realizado podrían ser trasladados a cualquier establecimiento industrial, sea cual sea su función, siendo válidos y totalmente necesarios para su construcción. La parte de alta tensión sería aplicable a otros edificios técnicos y/o industriales que requiriesen gran potencia para su funcionamiento, y la parte de baja tensión es aplicable a todo edificio que tenga la más mínima instalación eléctrica, desde un local comercial, una centro médico o un aeropuerto.

Desde el punto de vista económico, tras el cálculo del presupuesto de ejecución material, el cual contempla el coste de cada una de las partidas necesarias para la ejecución de la obra, se suman las cantidades de costes indirectos y el beneficio industrial. Cabe destacar, que al tratarse de un proyecto de elevado presupuesto, estos porcentajes se convierten en una cantidad de dinero importante, que no significarían lo mismo para todas las empresas. En función del tamaño de cada empresa, sus costes fijos, instalaciones, equipo humano y demás factores, un margen así representa un porcentaje mayor o menor respecto a su facturación total.

La elaboración de este proyecto, y mi participación en proyectos de subestaciones eléctricas de tracción y suministro eléctrico, ha sido determinante para comenzar mi camino profesional en este sector, que desde mi punto de vista, comprende muchos campos de la ingeniería. Son proyectos muy completos que engloban la mayoría de las ramas de Ingeniería Industrial, y que me ha permitido tener una visión global y centrar mi interés en un campo más concreto.